



Kvælstofforsyning ved biologisk kvælstofbinding. II. Symbiotisk N₂-binding og kvælstofgødsning af frøbælgplanter

Jensen, Erik Steen; Andersen, A. J.; Sørensen, H.; Thomsen, J. D.

Publication date:
1985

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Jensen, E. S., Andersen, A. J., Sørensen, H., & Thomsen, J. D. (1985). *Kvælstofforsyning ved biologisk kvælstofbinding. II. Symbiotisk N₂-binding og kvælstofgødsning af frøbælgplanter*. Forsøgsanlæg Risø. Risoe-M No. 2428

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

KVÆLSTOFFORSYNING VED BIOLOGISK KVÆLSTOPBINDING

II. Symbiotisk N_2 -binding og kvælstofgødsning af
frøbælgplanter

Erik S. Jensen, Arna J. Andersen, Henning Sørensen og
Jørgen D. Thomsen

Abstract. Hos bælgplanter bidrager både symbiotisk N_2 -binding og uorganisk N (NO_3 -N, NH_4 -N) til planternes N-forsyning. I det foreliggende arbejde vurderedes størrelsen af bidragene fra de respektive N-ressourcer til N-forsyningen af ært og hestebønne ved anvendelse af ^{15}N -isotopfortynding. Desuden belystes effekten af gødsning med nitratkvælstof på udbytte og proteinproduktion. I mark- og karforsøg tilførtes ^{15}N -mærket gødning til frøbælgplanterne og en referenceafgrøde. Udfra ^{15}N -berigelsen i reference- og frøbælgplanteafgrøde beregnedes optagelsen af gødnings- og jordkvælstof samt den symbiotiske N_2 -binding.

(fortsættes)

I en 3-årig markforsøgsserie havde tilførsel af 50 kg N/ha ved såning ("start"-N) ikke signifikant indflydelse på frøudbytte eller proteinproduktion hos kogeært, foderært og hestebønne. I gennemsnit af de 3 forsøgsår blev den symbiotiske N₂-binding i kogeært, foderært og hestebønne ved modenhed vurderet til hhv. 165, 136 og 187 kg N/ha, hvilket svarede til 60, 51 og 66% af total-N i afgrøderne. Uden N-gødskning blev den symbiotiske N₂-binding beregnet til at udgøre ca. 71, 65 og 76% af et indhold på i alt 274, 260 og 288 kg N/ha i hhv. kogeært, foderært og hestebønne.

I karforsøg med stigende tilførsel af nitratkvælstof ved såning til ært stimulerede moderate N-tilførsler udbyttet af vegetative plantedele og rodtørstof uden af have en negativ indflydelse på den symbiotiske N₂-binding. Større tilførsler af nitrat reducerede imidlertid den symbiotiske N₂-binding betydeligt. Gødskning med nitratkvælstof ved tidlig bælgyldning øgede udbyttet af frøtørstof og -protein signifikant i forhold til de ugødede afgrøder.

INIS-deskriptorer: FERTILIZATION; ISOTOPE DILUTION; NITRATES; NITROGEN; NITROGEN FIXATION; NITROGEN 15; PISUM; SYMBIOSIS; VICIA.

ISBN 87-550-1076-8

ISSN 0418-6435

Risø Repro 1985

INDHOLD

	Side
FORORD	5
1. INDLEDNING	7
2. PRODUKTIONSFORLØB, NÆRINGSSTOFOPTAGELSE OG SYMBIOTISK N ₂ -BINDING I ÆRT OG HESTEBØNNE I MARKFORSØG	14
2.1. Materialer og metoder	15
2.1.1. Beskrivelse af forsøgsbetingelser	15
2.1.2. ¹⁵ N-metodik	20
2.2. Forsøgsresultater	26
2.2.1. Tørstofproduktion og udbytte- komponenter	26
2.2.2. Kvælstofkoncentration og -udbytte	30
2.2.3. Næringsstofkoncentrationer	36
2.2.4. Udnyttelse af N-ressourcer	41
2.3. Diskussion og konklusioner	48
3. EFFEKT AF MÆNGDE OG TIDSPUNKT FOR TILFØRSEL AF KVÆLSTOFGØDNING PÅ UDBYTTE OG SYMBIOTISK N ₂ - BINDING HOS ÆRT I KARPORSØG	59
3.1. Materialer og metoder	60
3.2. Forsøgsresultater	63
3.2.1. Effekt af N-gødskning ved såning	63
3.2.2. Effekt af delt og sen N-gødskning	71
3.3. Diskussion og konklusioner	78
LITTERATUR	83
ENGELSK RESUME	91

FORORD

Denne rapport er en del af en rapport-serie med fællestitlen: Kvalstofforsyning ved biologisk kvælstofbinding. De øvrige rapporter i serien har titlerne: I. Introduktion og sammendrag af resultater 1980-1982, III. Samdyrkning af ært og byg, IV. Eftervirkning af frøbælgplanter og V. Forekomst og N₂-bindingseffektivitet af rodknoldbakterien *Rhizobium leguminosarum*. De rapporterede undersøgelser er udført på Forsøgsanlæg Risø i årene 1980-1982 med støtte fra Energiministeriets Forskningsprogram 1980 (EM-Journal nr. 2244-302).

1. INDLEDNING

Frøbælgplanter (ært, hestebønne, sojabønne, etc.) har normalt følgende N-ressourcer til deres rådighed for vækst:

- 1) atmosfærisk kvælstof (N_2) via symbiosen med rodknoldbakterier
- 2) jord-kvælstof i form af nitrat (NO_3^-) og ammonium (NH_4^+) hidrørende fra mineralisering af jordens organiske stof
- 3) gødnings-kvælstof og
- 4) kvælstof i frøet.

Bælgplante/*Rhizobium* symbiosen er en integreret proces, ved hvilken bælgplanterne forsyner bakteroiderne i rodknoldene med netop assimilerede fotosynteseprodukter (Lawrie og Wheeler, 1973). Til gengæld stiller bakteroiderne, der via enzymet nitrogenase besidder evnen til at reducere N_2 til NH_4^+ , kvælstof til rådighed for bælgplantens vækst og reproduktion. Ved N-forsyningen af frøbælgplanter synes den rette kombination af uorganisk (plantetilgængeligt) N og symbiotisk N_2 -binding imidlertid at være vigtig for opnåelse af optimalt udbytte (Harper, 1974).

I den tidlige udvikling er plantevæksten afhængig af N-reserver i frøet og uorganisk N i dyrkningsmediet, idet funktionsdygtige rodknolde hos f.eks. ært først er etableret ca. 10-14 dage efter fremspiring. Mahon og Child (1979) viste, at ærter dyrket med symbiotisk N_2 -binding som eneste N-kilde viste tegn på N-mangel i den første uge efter fremspiring, idet vækstraten forøgedes ved tilførsel af NH_4NO_3 . Effekten af N-gødskning manifesterede sig i en forøgelse af bladfarealet (fotosyntesekapaciteten). Det blev desuden vist af Mahon og Child (1979), at des længere tid (fra såning) ærterne dyrkedes med uorganisk N som supplement til symbiotisk N_2 -binding, desto højere var udbyttet af både tørstof og kvælstof efter 10 ugers vækst. Harper (1974) viste ligeledes, at udbyttet af sojabønne var størst, når både uorganisk N og N_2 -binding bidrog til kvælstofforsyningen. I lighed med Harper

(1974) viste Oghoghorie og Pate (1971), at rodknolddannelse og N_2 -bindingsraten var højere ved et lavt, uorganisk N-niveau end uden uorganisk N i dyrkningsmediet. Pate og Dart (1961) fandt ligeledes en forbedret rodknolddannelse ved lavt uorganisk N i mediet sammenlignet med N_2 -binding som eneste N-kilde.

Et vist niveau af uorganisk N synes derfor at kunne supplere og under visse omstændigheder øge den symbiotiske N_2 -binding. Dette N-niveau er vist skematisk ved den stiplede linie i fig. 1.1.

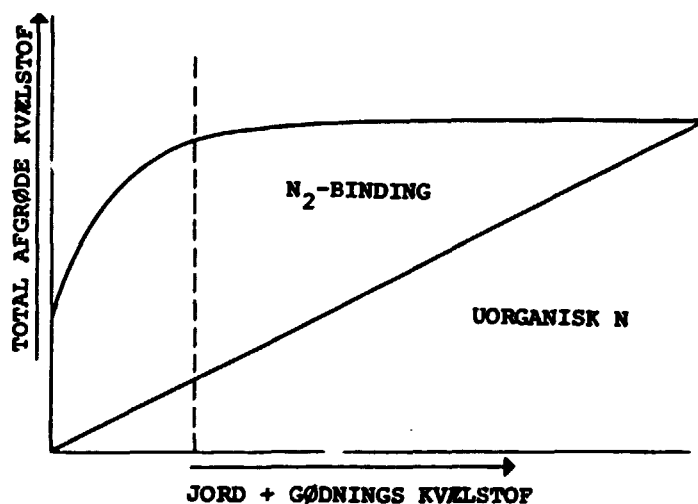


Fig. 1.1. Skematisk fremstilling af uorganisk kvælstofs indflydelse på N-assimilationen i bælplanter. Efter Gibson (1977).

De fleste undersøgelser af behovet for tilførsel af uorganisk N til bælplanter tager imidlertid ikke hensyn til jordens initiale indhold af uorganisk N ved vurdering af effekten af gødnings-N (Gibson, 1976, 1977). Effekten af tilført gødnings-N vil i høj grad afhænge af kvælstofmineraliseringen om foråret. Det anbefales imidlertid ofte at tilføre mindre mængder af N-gødning f.eks. 30 kg N/ha, såkaldt "start-N" (f.eks. Chamberland, 1982), for at få etableret en afgrøde med et veludviklet fotosynteseapparat, der kan understøtte en høj symbiotisk N_2 -binding senere i væksten. Det er imidlertid sjældent, at der opnås udslag for en sådan tilførsel (se f.eks. Cutcliffe og Munro, 1979), med mindre

betingelserne for kvælstofbinding er ugunstige, f.eks. på grund af angreb af skadedyr eller patogener, der har indflydelse på symbiosen (Mulder, 1948), eller fordi *Rhizobium*-bakterier ikke findes i jorden (Sosulski og Buchan, 1978).

Tilførsel af større mængder N (f.eks. mere end 100 kg N/ha) synes ikke at have hverken positiv eller negativ indflydelse på tørstof- og kvælstofudbytte af ært og hestebønne (f.eks. McEwen, 1970), såfremt forholdene er gunstige for N₂-binding (Mulder, 1948). Høje niveauer af uorganisk N i dyrkningsmediet ved såning vil have en negativ indflydelse på etablering af symbiosen (infektion og rodknolddannelse), og tilførsel af uorganisk N i større mængder til etablerede symbioser vil reducere eller inhibere funktionen af rodknoldene. Effekten af uorganisk N vil afhænge af tidspunktet for tilførsel (Pate og Dart, 1961), planteart (Allos og Bartholomew, 1955), plantesort (Richardson et al., 1956), *Rhizobium*-stamme (Pate og Dart, 1961), type af N-gødning (Vigue et al., 1977), samt temperatur, lysforhold og tilgængelighed af andre næringsstoffer.

Årsagen til uorganisk kvælstofs negative indflydelse på dannelse af rodknolde og aktiviteten af nitrogenase i etablerede rodknolde kendes ikke præcist, men man har foretaget mange undersøgelser for at afklare sammenhængen. Nitrat forsinker eller inhiberer formentlig rodknolddannelsen via indflydelse på flere trin i infektionsprocessen. Visse proteiner, lektiner, er involveret i *Rhizobium*-bakteriernes binding til rodhår (Dazzo, 1980). Tilførsel af nitrat til kløver medfører, at lektin-niveauet i epidermiscellerne reduceres (Dazzo et al., 1981). Munns (1968) viste, at nitrat reducerede rodhårskrølningen og dannelse af infektionstråde, muligvis via nitrits (hidrørende fra nitratreduktion i *Rhizobium*) indflydelse på hormonet IAA (Tanner og Anderson, 1964).

Kvælstofbindingen i etablerede rodknolde reduceres i takt med stigende kvælstofniveau i dyrkningsmediet (Oghoghorie og Pate, 1971). Nogle undersøgelser antyder, at effekten af uorganisk N skyldes en reduktion af leghæmoglobin-indholdet i rodknoldene (Chen og Phillips, 1977; Bisseling et al., 1978). Der er imid-

lertid adskillige undersøgelser, der tyder på, at effekten kan være forårsaget af konkurrencen om fotosynteseenergi til N-assimilation (Small og Leonard, 1969; Oghoghorie og Pate, 1971; Houward, 1978; Mil, 1981). Tilførsel af nitrat til dyrkningsmediet vil indebære, at rodknoldene "sultes" for fotosyntat, idet fotosynteseprodukterne hovedsageligt translokeres til unge rødder (Small og Leonard, 1969) eller forbliver i toppen og anvendes ved nitratreduktion. Ændringen i fordelingen af fotosyntater mellem rodknolde og andre plantedele som følge af nitrat, kan imidlertid også skyldes, at rodknoldene ikke fungerer som dræn for fotosyntater på grund af en direkte effekt af nitrat på rodknoldenes funktion (Small og Leonard, 1969).

Teoretiske beregninger viser, at omkostningerne i forbindelse med kvælstofbinding og nitrataassimilation er af samme størrelsesorden, ca. 2,2 g C/g N (Gibson, 1979). Studier af energiomkostningerne på hele planter antyder, at omkostningerne ved kvælstofbinding og assimilation er højere end for optagelse og assimilation af uorganisk N (Mahon, 1977; Ryle et al., 1979). Planter, der vokser med symbiotisk N₂-binding som eneste N-kilde, synes at respirere ca. 10-15% mere af den daglige fotosyntese end planter dyrket alene på nitrat (Schubert og Ryle, 1980).

Kvælstofbindingsraten i frøbælgplanter når et maksimum omkring blomstring/tidlig bælgfyldning (Lawrie og Wheeler, 1973; Sprent og Bradford, 1977). Bælge og frø vil herefter have et stadigt stærkere behov for fotosyntater, hvorved fotosynteseenergien til N₂-binding reduceres. Prøenes store kvælstofkrav medfører, at kvælstof translokeres fra de vegetative plantedele til frøene (Pate og Flinn, 1974). Dette resulterer ifølge Sinclair og de Wit (1976) i den såkaldte "selvdestruktion", idet translokation af N og andre næringsstoffer fra blade til frø vil medføre, at bladene visner og fotosyntesekapaciteten nedsættes, hvilket også indebærer, at indlejringsperioden forkortes. Garcia og Hanway (1976) var i stand til at øge udbyttet af sojabønner ved at bladgødske med N, P, K og S, men Boote et al. (1978) og Poole et al. (1983) kunne ikke opnå lignende resultater.

Uden uorganisk N i dyrkningsmediet kan den symbiotiske kvælstofbinding vurderes ved en simpel bestemmelse af total-N i plantematerialet. I de fleste tilfælde vil der imidlertid være flere N-kilder. Under disse forhold kan N_2 -bindingen måles direkte ved mærkning af luftens atmosfæriske kvælstof med $^{15}N_2$ (Warembourg et al., 1982) eller ved ^{15}N -mærkning af det uorganiske N i dyrkningsmediet (Hill-Cottingham og Lloyd-Jones, 1980). I det sidstnævnte tilfælde må ^{15}N -berigelsen kendes, og andre N-kilder, f.eks. jord-N på organisk form, må ikke være til stede i mediet.

Adskillige metoder kan anvendes ved indirekte måling af kvælstofbinding, f.eks. acetylenreduktion (Mahler et al., 1979), jordafgrøde N-balancer (Lyon og Bizzell, 1934), differensmetoden (f.eks. Ham, 1978), hvor forskellen i total-N mellem bælgeplante og en ikke-kvælstofbindende referenceafgrøde betragtes som et udtryk for kvælstofbindingen, den udvidede differensmetode (Stülpnagel, 1983), hvor der også tages hensyn til jordens indhold af uorganisk N før og efter de to afgrøder. Endvidere kan forskellige variationer af ^{15}N -isotopfortynding benyttes (Amager et al., 1978; Legg og Sloger, 1975; Fried og Broeshart, 1975).

Fælles for disse metoder med undtagelse af acetylenreduktionsmåling gælder, at de kræver sammenligning mellem bælgeplante og en ikke-kvælstofbindende referenceafgrøde. Acetylenreduktionsmetoden er mest velegnet ved sammenligning af N_2 -bindingsraten på givne tidspunkter for forskellige behandlinger (Phillips og Bennet, 1978), og derfor ikke til kvantitative bestemmelser af N_2 -binding i løbet af en vækstsæson.

Anvendelse af ^{15}N -gødningsteknikken (Fried og Broeshart, 1975, 1981) er ikke uden problemer (Knowles, 1982). Ved anvendelse af denne metode er referenceafgrødevalget af overordentlig stor betydning. Witty (1983) viste, at optagelsesmønsteret for de to afgrøder har stor betydning, idet det er vanskeligt at opnå den samme ^{15}N -mærkning af det uorganiske N i dyrkningsmediet gennem vækstsæsonen. Dette skyldes mineralisering af jordens organisk bundne kvælstof. De to afgrøder bør derfor have identiske mønstre for uorganisk N-optagelse gennem vækstsæsonen. En ikke-nodulerende isolinie af en given bælgeplante er ikke nødvendigvis en

bedre referenceafgrøde end f.eks. en kornplante (Rennie 1982). Et andet problem kan være, at rodnettene af bælgeplante og referenceafgrøde kan være forskellige, således at referenceafgrøden måske kan udnytte kvælstof, der ikke er tilgængeligt for bælgeplanten (Rennie et al., 1978). Med mindre man decideret er interesseret i at undersøge effekten af N-gødsning, kan det være en ulempe at tilføre selv små mængder N, der både kan stimulere og inhibere den symbiotiske N_2 -binding afhængigt af gødningsniveauet.

I tabel 1.1. er vist eksempler på vurdering af symbiotisk N_2 -binding i hestebønne og ært ved anvendelse af forskellig teknik. Det er vanskeligt at sammenligne de forskellige estimater, især absolutte størrelser, da der er anvendt forskellige kvælstoftilførsler, sorter etc. LaRue og Patterson (1981) anfører, at det er mest relevant at anføre bidraget fra den symbiotiske kvælstofbinding som procent af total-N i afgrøden.

Formålet med nærværende forsøg var at vurdere betydningen af symbiotisk N_2 -binding og uorganisk N (nitrat, ammonium) som N-ressourcer for vækst og udbytte af frøbælgeplanterne ært og hestebønne. Størrelsen af den symbiotiske N_2 -binding blev estimeret ved anvendelse af ^{15}N -gødningsfortynding og med byg som referenceafgrøde.

Tabel 1.1. Estimer af symbiotisk kvælstofbinding i hestebønne og ært.

Afgøde	Mark/kar forsøg	N-tilførsel		N ₂ -binding			Metode og referenceafgrøde	Reference
		kg N/ha	mg N/kar	% af total N	kg N/ha	mg N/ plante		
Hestebønne	Mark	100	-	69	197	-	¹⁵ N,A-værdi,byg	Fried og Broeshart 1975
"	Mark	20*	-	70	-	-	¹⁵ N,A-værdi,hvede	Fried og Broeshart 1981
"	Mark	20**	-	60	-	-	¹⁵ N,A-værdi,hvede	Fried et al. 1983
"	Mark	20	-	79	136	-	¹⁵ N,A-værdi,byg+	Wagner og Zapata 1982
"	Mark	30	-	58	160	-	¹⁵ N,A-værdi,raps+	Witty 1983
"	Mark	0	-	64	-	-	Δ ¹⁵ N ⁺ ,byg	Rennie et al. 19
"	Mark	0	-	62	136	-	Differens,byg	Rizk 1966
"	Mark	0	-	79	136	-	Differens,byg	Richards og Soper 1982
"	Mark	0	-	70	255	-	Udv.diff.,hvede	Stülpnagel 1982
"	Kar	-	0-900	7-42	-	539-296	¹⁵ N,A-værdi,byg	Richards og Soper 1979
"	Kar	-	0,5-1,5mM ^S	93-69	-	1200-1000	¹⁵ N i dyrkningsmedium	Hill-Cottingham et al. 1980
Ært	Mark	25-100	-	58-46	133-105	-	¹⁵ N,A-værdi,havre	Haak 1983
"	Mark	30	-	57	76	-	¹⁵ N,A-værdi, raps+	Witty 1983
"	Mark	0	-	33	69	-	Acetylenreduktion	Mahler et al. 1979
"	Lysimeter	0	-	93	-	126	¹⁵ N ₂ i lysimeter	Sims et al. 1982
"	Mark	0	-	?	52	-	N-balancer 10 år,havre	Lyon og Bizzell 1934
"	Kar	-	500	62	-	520(/kar)	¹⁵ N i dyrkningsmedium	Schilling et al. 1967
"	Kar	-	0-1600	87-15	-	117-52	¹⁵ N,A-værdi,rajgræs	van Mil 1981

* og ** N: tilført ved hhv. placering og som opløsning til hele parcellen.

Et + efter referenceafgrøde indikerer, at andre afgrøder også er anvendt.

^S NO₃⁻
+ Δ ¹⁵N: N-isotopdiskrimination.

2. PRODUKTIONSFORLØB, NÆRINGSSTOFOPTAGELSE OG SYMBIOTISK N₂-BINDING HOS ÆRT OG HESTEBØNNE I MARKFORSØG

Det antages som regel, at ært og hestebønne er i stand til at dække deres N-behov via plantetilgængeligt jord-kvælstof og dels ved symbiotisk N₂-binding. Denne antagelse bygger på en række forsøg med N-gødskning i f.eks. kogeært: Mulder (1948), Geering (1957), Bengtsson (1973), Cutcliffe og Munroe (1979), Olsen og Hansen (1980), i foderært: Hansen (1965), Chamberland (1982), Potts (1982), samt i hestebønne: Augustinussen (1971), McEwen (1970), Richards og Soper (1982). I hovedparten af disse forsøg opnåedes ikke udslag for tilførsel af mindre mængder N, "start-N", i størrelsesordenen 25-50 kg N/ha (f.eks. Cutcliffe og Munro, 1979) og heller ikke for tilførsel af større mængder N (f.eks. McEwen 1970, Haak 1983). Alligevel anbefales det ofte at tilføre "start-N" for at "sikre" afgrødens tidlige udvikling. Tilførsel af 25-50 kg N/ha kan dog tænkes at have en negativ indflydelse på etablering af symbiosen, hvis jordens initiale indhold af uorganisk N er tilstrækkeligt for etablering af afgrøden. I hovedparten af de ovenfor citerede undersøgelser er der hovedsageligt rapporteret om frøudbytte og proteinindhold, og i mindre grad om indflydelsen af N-gødskning på vækst, næringsstofoptagelse, kvælstofbinding og optagelse af kvælstofgødning.

Kendskabet til størrelsen af de aktuelle bidrag fra jord-, evt. gødnings- og symbiotisk bundet kvælstof ved N-forsyningen af frøbælgplanter er begrænset især under markforhold (LaRue og Patterson, 1981). I sojabønne foreligger dog en del estimer, men i frøbælgplanterne ært og hestebønne er kendskabet til N-ressourcernes betydning begrænset. Resultater antyder, at hestebønner er i stand til at binde 70-80% af total-N fra atmosfærisk N₂ og ært ca. 60% (jfr. tabel 1.1.). Danske undersøgelser af de respektive N-kilders betydning ved N-forsyningen af frøbælgplanter foreligger ikke, og nyere undersøgelser af stofproduktion og næringsstofoptagelse i ært synes heller ikke at foreligge, som det er tilfældet for hestebønne (Augustinussen, 1972).

Formålet med nærværende 3-årige markforsøgsserie, udført på Forsøgsanlæg Risø, var at vurdere størrelsen af den symbiotiske N_2 -binding og bidragene fra uorganiske N-kilder (jord/gødning) til N-forsyningen af kogeært, foderært og hestebønne ved anvendelsen af ^{15}N -gødningsfortynding. Desuden belystes effekten af N-gødning ved såning med 50 kg N/ha på vækst, næringsstofoptagelse, udbytte og proteinproduktion i de tre frøbælgplanter.

2.1. Materialer og metoder

2.1.1. Beskrivelse af forsøgsbetingelser

Forsøgene var placeret på en let lerjord med pH ca. 7. Gul sennep var forfrugt i alle år, og om efteråret forud for forsøgene blev jorden tilført 520 kg PK-gødning (0-6-10) pr. ha. svarende til 30 kg P og 50 kg K pr. ha. Ved anlæg af forsøgene blev jordprøver udtaget ned til 1 meters dybde (3 prøver á 5 stik) i lagene 0-20, 20-40, 40-70 og 70-100 cm. Behandling af prøverne og analysemetode er beskrevet af Haahr et al. (1985), og resultaterne er vist i tabel 2.1. Mængden af ekstraherbart uorganisk N ved vækstsæsonens start var betydelig stor i alle år (tabel 2.1). Det må i den sammenhæng erindres, at gul sennep var forfrugt, og at nogle forsøgsresultater (Haby et al., 1983) viser, at afgrøder formentlig kun kan udnytte en mindre del af den mængde uorganisk N i profilen, der er bestemt ved ekstraktion ved vækstperiodens start. En oversigt over nedbør, temperatur og solskinstimer i de tre vækstsæsoner er vist i fig. 2.1.

Tabel 2.1. Koncentration og mængde af uorganisk kvælstof ($\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N}$)* i forskellige jordlag ved forsøgenes anlæg. Gennemsnit af tre analyser.

Jordlag cm	Rumvægt g/cm ³	mg N pr. 100 g jord			kg N pr. ha		
		1980	1981	1982	1980	1981	1982
0- 20	1,3	2,26	1,20	1,76	58,8	31,2	45,9
20- 40	1,4	1,48	0,89	1,86	41,8	23,2	52,0
40- 70	1,5	1,22	0,79	1,44	54,8	35,6	64,8
70-100	1,6	1,42	0,58	1,06	68,2	27,9	50,9
0-100	-	-	-	-	223,6	117,9	213,6

* Ekstraheret med 2 N KCl, jord/væske forhold: 1/10

Forsøgsplanen omfattede "Bodil" ært (*Pisum sativum* L.), "Timo" ært (*Pisum sativum* L. *arvense*) og "Diana" hestebønne (*Vicia faba* L.) tilført hhv. intet (N_0) og 50 kg N pr. ha (N_{50}). "Bodil" er en kort, tidlig, hvidblomstret koge(mark)ært med determineret vækst. "Timo" er en lang, middeltidlig, violetblomstret, grå/grønfrøet foder(mark)ært med indetermineret vækst. "Diana" er en kort, middeltidlig, småfrøet hestebønne. "Nery" vårbyg blev anvendt som referenceafgrøde ved ¹⁵N-gødningsteknikken. Det tilstræbtes at opnå en plantebestand på 80 ærteplanter og 60 (40 i 1981) hestebønneplanter pr. m². Plantebestande optalt efter fremspiring er vist i tabel 2.2. I 1982 blev udsæden bejdset med 2 g Thiram pr. kg udsæd, hvilket kan have været årsag til den noget bedre etablering af afgrøderne dette år. Spiringsprocenten i "Timo" foderær var gennemgående betydeligt højere end i "Bodil" kogeært.

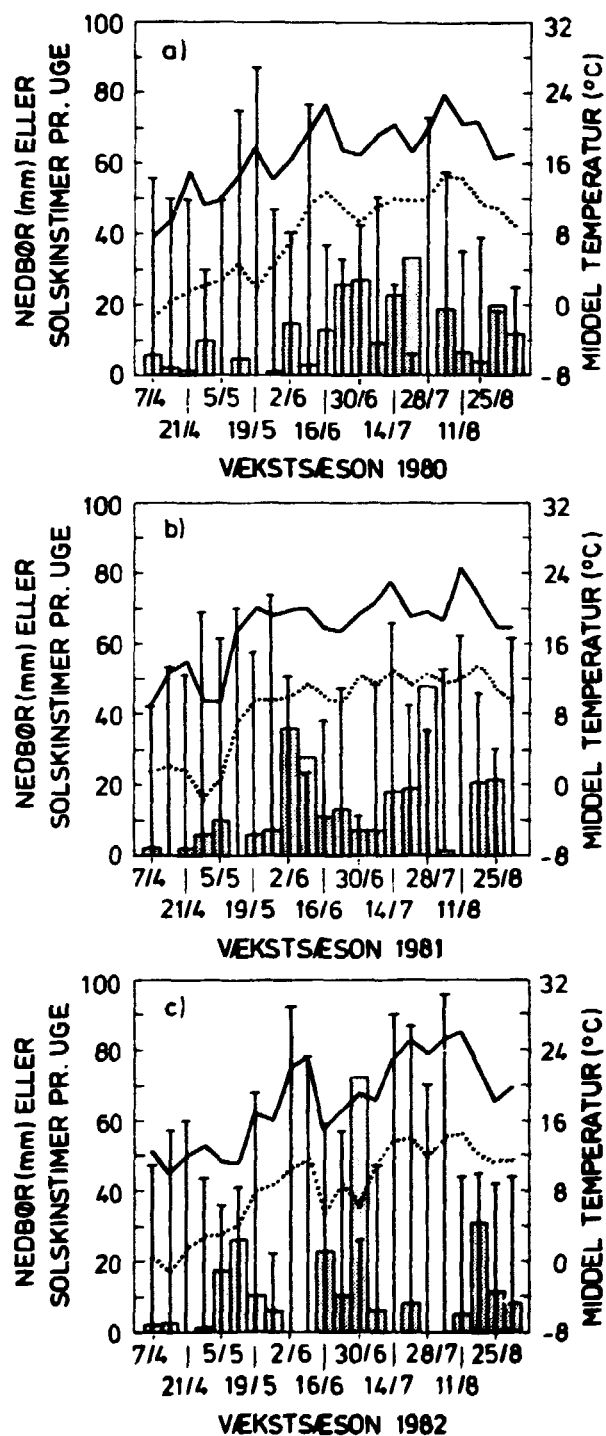


Fig. 2.1a-c. Klimadata for vækstsæsonerne 1980-1982. Nedbør: søjlediagram; solskinstimer: pindediagram; middel minimumstemperatur: punkteret kurve; middel maksimumstemperatur: fuldt optrukne kurve. a: 1980, b: 1981 og c: 1982.

Tabel 2.2. Plantebestand af "Bodil" kogeært, "Timo" foderært og "Diana" hestebønne i markforsøg 1980-1982.

Frø- bælgplante	Antal planter pr. m ²		
	1980	1981	1982
"Bodil"	63 ± 1*	65 ± 1	88 ± 1
"Timo"	92 ± 2	91 ± 2	110 ± 4
"Diana"	64 ± 2	38 ± 1	71 ± 3

* Middelværdi ± standardafvigelse.

Forsøget var designet som et split-plot forsøg med 15 blokke i 1980 og 6 blokke i de følgende år. Forsøgsleddene blev arrangeret med kvælstofniveau på hovedparceller (randomisering inden for blokke) og frøbælgplanter på underparceller (randomisering inden for hovedparceller). Hver underparcel bestod af 10 rækker som vist i fig. 2.2. Høstparcelareal efter kassation af værerækker var 2,2 m². I forsøget med tilførsel af ¹⁵N-beriget kvælstofgødning høstedes 2 rækker á 40 cm til ¹⁵N-analyse (se fig. 2.2).

Udsåning blev foretaget med en 10-rækket "Øyjord" forsøgssåmaskine i 3-5 cm dybde. Forsøgsgødning med ¹⁵N-berigelse blev, ca. 2 uger efter såning, tilført delparcellen som beskrevet i afsnit 2.1.2. Den øvrige del af parcellen blev gødet med kalksalpeter (15,5% N) svarende til 50 kg N pr. ha 1-2 uger efter såning. Forsøgene blev sprøjtet mod ukrudt i midten af maj, og bladrandbiller og bladlus blev bekæmpet efter behov med Parathion. I midten af maj blev forsøgene overdækket med net for at hindre fugleskade.

Tidspunkter for såning, fremspiring, begyndende blomstring og høst er vist i tabel 2.3. Tre blokke blev høstet pr. høsttid.

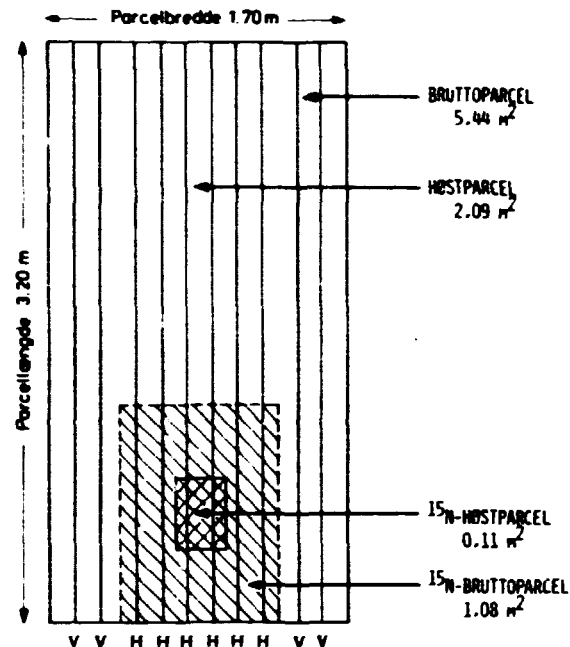


Fig. 2.2. Brutto-, ¹⁵N- og høstparcel.

V: Værnerække; H: Række som høstes.

Efter høst af plantemateriale til ¹⁵N-analyse afklippedes den resterende del af parcellen med kort stub. Herefter blev en række gravet op og vasket fri for jord. Ca. 10 uger efter såning af "Bodil" og 11 uger efter såning af "Timo" og "Diana" (blomstring/tidlig bælgfyldning) blev første høst foretaget. Plantematerialet deltes i overjordisk biomasse og rod + stub. Ved modenhed (ca. 17 uger og 19 uger efter såning i hhv. ærter og hestebønne) blev afgrøderne delt i rod + stub, stængel + blade, tomme bælge og frø. Antal bælge pr. parcel blev optalt, og 1000-kornsvægt blev bestemt. I 1982 blev affaldne hestebønneblade opsamlet med henblik på næringsstofanalyser. Efter vejning af hver plantedel blev prøver udtaget til tørstofbestemmelse. (20 timer ved 80°C), Kjeldahl N-bestemmelse (semi-micro efter nitratreduktion), analyse af P, K, Na, Ca og Mg, samt ¹⁵N-berigelse (som beskrevet i afsnit 2.1.2). Efter kogning med salpeter- og perklor-syre blev P bestemt kolorimetrisk, K og Na ved flammeemissionsspektrofotometri og Ca og Mg ved atomabsorptions-spektrofotometri.

Tabel 2.3. Tidspunkt for såning, fremspiring, begyndende blomstring og høst af de tre frøbælgplanter. 1980-1982.

Frø- bælgplante	År	Såning	Prem- spiring	Begyndende blomstring	1. høst (blomstring/ tidl.bælgfyldn.)	2. høst (modenhed)
"Bodil"	1980	16/4	6/5	19/6	24/6	8/8
	1981	13/4	7/5	15/6	24/6	17/8
	1982	7/4	25/4	11/6	24/6	4/8
"Timo"	1980	16/4	6/5	19/6	1/7	4/8
	1981	13/4	7/5	17/6	30/6	17/8
	1982	7/4	25/4	11/6	1/7	11/8
"Diana"	1980	16/4	7/5	18/6	1/7	27/8
	1981	13/4	7/5	14/6	30/6	3/9
	1982	7/4	29/4	14/6	1/7	11/8

I 1980 blev der desuden høstet d. 4/6 i alle afgrøder, d. 16/7 og 29/7 i "Bodil", d. 28/7 i "Timo" og d. 28/7 og 18/8 i "Diana".

Split-plot variansanalyse blev udført på data ved hjælp af Statistical Analysis System (Helwig og Council, 1979).

2.1.2. ¹⁵N-metodik

I forsøgene anvendtes "A"-værdi metoden (Fried og Broeshart, 1975, 1981), ved hvilken en bælgplante og en ikke-kvælstofbindende referenceafgrøde tilføres ¹⁵N-mærket kvælstof for vurdering af bidragene fra gødnings-N, jord-N og symbiotisk bundet N til N-forsyning af ært og hestebønne.

¹⁵N-gødningen blev tilført til en delparcel (se fig. 2.2.) hvor på en ramme opdelt i 12 kvadrater á 0,3 x 0,3 m var placeret. Til hvert kvadrat tilførtes en afmålt mængde K¹⁵NO₃ + Ca(¹⁴NO₃)₂-

opløsning med ^{15}N -berigelse som anført i tabel 2.4. Herefter tilførtes kalksalpeter til den øvrige del af parcellen, der herefter blev vandet med ca. 10 liter vand.

Afgrøderne blev høstet som beskrevet i afsnit 2.2.1, og total-N blev bestemt i det formalede, ^{15}N -holdige plantemateriale ved våd-foraskning ifølge Kjeldahl med reduktion af nitrat. NH_4^+ blev bestemt kolorimetrisk i aliquoter på Autoanalyser (Technicon). Resten af NH_4^+ blev afdestilleret og opsamlet i 0,5 N H_2SO_4 ; aliquoter heraf svarende til ca. 1 mg N blev inddampet til tørhed (sammen med lidt glødet pimpsten) i en pyrex glas ampul forsynet med "brække-spids". En blanding af udglødet CuO og CaO blev tilsat ampullen, som derefter blev udpumpet til et atmosfæretryk på 0,001 mbar og lukket ved afsmeltning og derefter opvarmet til ca. 560°C i 3 timer (modificeret Dumas) (Fiedler og Proksch, 1975). Herunder går $\text{NH}_4\text{-N}$ over i N_2 -form. Forholdet mellem ^{14}N og ^{15}N bestemtes af Kemiafdelingens massespektrometersektion. Udfra dette forhold beregnedes ^{15}N -atom procenten. Efter fratrækning af den naturlige ^{15}N -atomprocent (0.366) opnåedes ^{15}N -berigelsesprocenten (atom% ^{15}N -excess). Usikkerheden på metoden var normalt mindre end 1% af den givne atom % ^{15}N (se tabel 2.4.).

Tabel 2.4. ^{15}N -berigelse (atom % ^{15}N -excess) af forsøgs-gødninger i de tre år. Gennemsnit af tre bestemmelser \pm standardafvigelse.

År	Atom % ^{15}N -excess
1980	3,92 \pm 0,16
1981	3,79 \pm 0,03
1982	3,72 \pm 0,03

"A"-værdi-metoden til bestemmelse af symbiotisk N₂-binding er baseret på den grundlæggende forudsætning, at en afgrøde, der konfronteres med to kvælstofressourcer, vil optage kvælstof fra hver ressource i et forhold, der er direkte proportionalt med mængden af tilgængeligt N i hver ressource (Fried og Broeshart, 1975). "A"-værdien er et udtryk for mængden af jord-N, der er lige så tilgængeligt som det tilførte gødnings-N. Bælplanten optager den samme procentdel af dette som af gødningskvælstoffet.

Andelen af kvælstof i referenceafgrøden hidrørende fra ¹⁵N-gødning (Ndff_R)*) beregnes som

$$\text{Ndff}_R = \frac{\text{atom\% } ^{15}\text{N-excess (plantedel)}}{\text{atom\% } ^{15}\text{N-excess (gødning)}} \times N_R \quad (1)$$

hvor N_R = total N i den givne plantedel.

I disse forsøg, hvor byg var referenceafgrøde, blev kvælstof hidrørende fra udsæd (Ndfk_R**) fastsat til 1 mg N pr. bygplante. Ved beregning på separate plantedele regnes med 50% til rod og 50% til skud (Jensen og Andersen, ikke publicerede resultater). Ved modenhed deles de 50% i overjordiske plantedele i 20% til halm, 5% til stak + avner og 25% til kerner.

Andelen af kvælstof fra jord-N (Ndfs_R***)) i referenceafgrøden beregnes som

$$\text{Ndfs}_R = N_R - (\text{Ndff}_R + \text{Ndfk}_R) \quad (2)$$

Gødningsudnyttelsen (% af N-gødning genfundet) i referenceafgrøden (Fu_R)[†]) beregnes som

*) Nitrogen derived from fertilizer

**) " " " kernels

***) " " " soil

†) Fertilizer utilization

R = Reference

L = Legume

$$F_{uR} = \frac{Ndff_R}{^{15}N\text{-Fert.}} \times 100\% \quad (3)$$

hvor $^{15}N\text{-Fert.}$ = mængden af tilført ^{15}N -mærket gødning.

Hvor beregninger er foretaget på de enkelte plantedele summeres op, således at den totale F_{uR} og $Ndfs_R$ for hele afgrøden kan anvendes ved beregning af jordens "A"-værdi,

$$"A" = \frac{Ndfs_R \times 100}{F_{uR}} \quad (4)$$

For frøbælgplanteafgrøden beregnes nu på lignende måde andelen af kvælstof hidrørende fra ^{15}N -gødning ($Ndff_L$) ved anvendelse af formel (1) og gødningsudbyttelsen (F_{uL}) som anført i (3).

Andelen af kvælstof i ærte- og hestebønneafgrøderne hidrørende fra udsæd fastsættes til hhv. 10 mg N pr. ærteplante og 15 mg N pr. hestebønneplante. Ved beregning på separate plantedele regnes med samme fordeling, som anført for referenceafgrøden.

Da det antages, at de relative mængder af tilgængeligt gødnings-N og jord-N er ens for frøbælgplanter og referenceafgrøde, beregnes mængden af jord-N i frøbælgplanterne ($Ndfs_L$) ved anvendelse af den beregnede "A"-værdi fra referenceafgrøden og gødningsudnyttelsen F_{uL} :

$$Ndfs_L = \frac{"A" \times F_{uL}}{100} \quad (5)$$

Hvis plantedele er analyseret separat for ^{15}N , kan F_{uL} beregnes for hver plantedel, og $Ndfs_L$ for de enkelte plantedele kan estimeres.

Bidraget fra den symbiotisk N_2 -binding (N_{dfa})^{S)} kan nu beregnes som

$$N_{dfa} = N_L - (N_{dff_L} + N_{dfs_L} + N_{dfk_L}). \quad (6)$$

hvor N_L = total N i den givne frøbælgplantedel.

Denne metode blev anvendt fremfor den enklere beregningsmetode foreslået af Fried og Middelboe (1977), hvor

$$N_{dfa} = \left[1 - \frac{\text{atom\% } ^{15}\text{N-excess (bælgplante)}}{\text{atom\% } ^{15}\text{N-excess (reference)}} \right] \times N_L \quad (7)$$

Forudsætningen for anvendelse af denne beregningsmetode er, at samme gødningsmængde er tilført til bælgplante- og referenceafgrøde. Hvis dette er tilfældet, er det muligt at udlede (7) af de foregående formler (Fried og Middelboe, 1977). Formlen (7) er imidlertid kun anvendelig, hvis ^{15}N -analyse er foretaget på afgrøden under ét, f.eks. overjordisk biomasse af bælgplante- og referenceafgrøde. Hvis plantedelene analyseres separat for ^{15}N , er det ikke givet, at berigelsen af de forskellige plantedele i referenceafgrøden er ens (se f.eks. tabel 3.5). Anvendelse af formel (7) ville derfor give forskellige estimater for N_2 -binding afhængigt af, hvilken plantedel fra referenceafgrøden der benyttes ved beregningen. Anvendelse af formel (7) ville desuden kræve, at atom% ^{15}N -excess for de to afgrøder blev korrigeret for frø-N (udsæds-N) før udregning, f.eks. ved anvendelse af formlen:

$$\text{atom\% } ^{15}\text{N-excess}_{\text{korr.}} = \frac{N \times \text{atom\% } ^{15}\text{N} - N_{\text{frø}} \times 0.366}{N - N_{\text{frø}}} - 0.366 \quad (8)$$

hvor N = total-N i plantedel,

$N_{\text{frø}}$ = frø-(udsæd) N i plantedel.

S) Nitrogen derived from air

Formel (7) vil navnlig finde anvendelse, hvis man ikke er interesseret i at adskille bidragene fra de uorganiske N-ressourcer, N-gødning og jord-N. Dette vil under alle omstændigheder kræve beregning af N_{dff} (formel 1).

Nedenfor er vist eksempler på betydningen af korrektion for N i udsæden. Eksempel 1 er fra et karforsøg med ært, hvor estimererne for symbiotisk N_2 -binding er opgivet med og uden korrektion for N i ært og referenceafgrøden byg.

Eksempel 1

Udsæds- korrektion	Symbiotisk N_2 -binding	
	mg N/kar	relativt
Ingen	915	113
Byg	936	116
Ært	789	97
Byg og ært	810	100

Eksempel 2 viser resultater fra et markforsøg med hestebønne ved to høsttidspunkter, hhv. blomstring/tidlig bælgyldning (H1) og modenhed (H2) og anvendelse af byg som referenceafgrøde.

Eksempel 2

Udsæds- korrektion	Symbiotisk N_2 -binding			
	g N pr. m^2		relativt	
	H1	H2	H1	H2
Ingen	5,6	20,2	110	101
Byg + hestebønne	5,1	20,0	100	100

Som det fremgår af de to eksempler, kan undladelse af korrektion for udsæds-N medføre en betydelig overvurdering af den symbiotiske N_2 -binding afhængigt af høsttidspunkt. Som nævnt ovenfor blev der i vore forsøg korrigeret for kvælstof i både bælgeplante- og referenceafgrødeudsæd.

2.2. Forsøgsresultater

2.2.1. Tørstofudbytte og udbyttekomponenter

Tørstofudbyttet af de tre frøbælgplanter, især af ærterne, varierede betydeligt i de tre forsøgsår (tabel 2.5 og 2.6). De klimatiske betingelser i vækstperioderne var temmelig forskellige med hensyn til nedbørsfordelingen, hvilket fremgår af fig. 2.1. Ved 1. høst (blomstring/tidlig bælgfyldning) var det overjordiske biomasseudbytte af foderært "Timo" betydeligt højere end for "Bodil" kogeært og "Diana" hestebønne. Det må i denne sammenhæng erindres, at "Timo" og "Diana" blev høstet ca. 1 uge senere end "Bodil". Det lave tørstofudbytte af "Diana" i 1981 (tabel 2.5) var forårsaget af en betydeligt tyndere plantebestand dette år sammenlignet med 1980 og 1982. De anførte data for rod- + stubtørstof må på grund af den primitive høstmetode betragtes som værende grove skøn over mængden af tørstof i disse plantedele.

Da gødskning med 50 kg N pr. ha ved såning ikke havde signifikant indflydelse på tørstofudbyttet (tabel 2.5 og 2.6) er akkumulering af tørstof over vækstsæsonen 1980 vist som gennemsnit af de to N-niveauer i fig. 2.3. Vækstkurverne i fig. 2.3 har et typisk sigmoidt forløb med maksimum tilvækst i tørstofproduktion fra begyndende blomstring til tidlig bælgfyldning. Høstindekset (kerneprocenten) var størst i "Bodil" kogeært og forøgedes med stigende udbytte (tabel 2.6). I 1981 var høstindekset i "Diana" hestebønne højere end i 1980 og 1982 på grund af en tyndere plantebestand.

**Tabel 2.5. Tørstofproduktion, g pr. m², ved blomstring/
tidlig bælgyldning (1. høst) i overjordisk biomasse og
rod + stub. 1980-1982.**

Frø- bælgplante	Kg N pr. ha	Plantedel	
		Overjordisk biomasse	Rod + stub
<u>1980</u>		g pr. m ²	
"Bodil"	0	321	36
	50	334	26
"Timo"	0	482	15
	50	495	12
"Diana"	0	362	71
	50	402	68

<u>1981</u>			
"Bodil"	0	282	20
	50	265	25
"Timo"	0	412	20
	50	405	21
"Diana"	0	179	33
	50	155	41

<u>1982</u>			
"Bodil"	0	499	38
	50	546	36
"Timo"	0	538	32
	50	621	41
"Diana"	0	400	117
	50	445	111

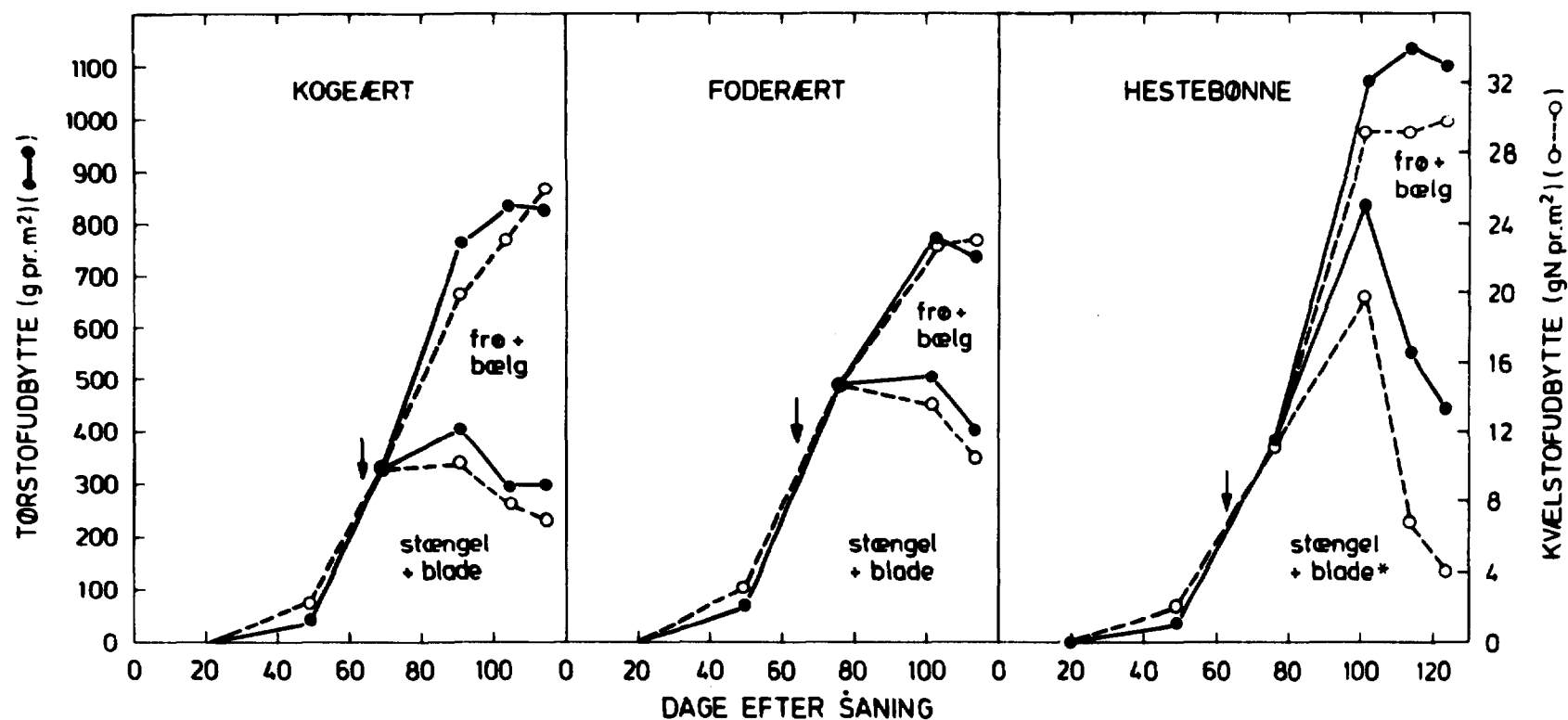


Fig. 2.3. Akkumuleret tørstof- og kvælstofudbytte, g pr. m², over vækstsæsonen 1980. Middelværdier af 2 N-niveauer. Pil viser tidspunktet for begyndende blomstring.

* Blade delvist eller ikke inkluderet ved de to sidste høsttidspunkter.

Tabel 2.6. Tørstofproduktion, g pr. m², ved modenhed (2. høst) i overjordiske plantedele og rod + stub, samt høstindeks. 1980-1982.

Frø- bælgplante	Kg N pr. ha	Plantedel					
		Frø	Tomme bælge	Blade + stangel	Overjordisk biomasse	Rod + stub	Høst- indeks
		g pr. m ²				%	
<u>1980</u>							
"Bodil"	0	456	123	290	868	18	52,5
	50	357	106	312	776	16	46,1
"Timo"	0	237	78	411	725	10	32,6
	50	263	80	398	741	10	35,6
"Diana"	0	535	133	444	1113	90*	48,1
	50	516	128	442	1087	110*	47,5

<u>1981</u>							
"Bodil"	0	437	97	245	779	12	55,6
	50	418	91	249	800	9	57,0
"Timo"	0	432	89	386	908	10	47,2
	50	392	76	352	820	13	47,5
"Diana"	0	526	127	305	959	77	55,0
	50	528	129	310	968	65	54,6

<u>1982</u>							
"Bodil"	0	714	139	300	1154	19	61,9
	50	764	154	326	1248	22	61,6
"Timo"	0	428	89	389	906	15	47,2
	50	528	103	412	1043	15	50,6
"Diana"	0	446	109	388	943	94	47,2
	50	488	118	412	1019	111	48,1

* Rod + stub data hidrører fra høst foretaget 9 dage før modenhed

N-gødskning havde ikke signifikant indflydelse på udbyttekomponenterne: bælg pr. m² eller pr. plante, det gennemsnitlige antal frø pr. bælg eller 1000-kornsvægt (tabel 2.7). Det fremgår af tabel 2.7, at det høje udbytte af ærterne i 1982 især afspejlede sig i en høj 1000-kornsvægt. I 1981 var "Diana" hestebønne i stand til at kompensere for den tyndere plantebestand ved næsten at fordoble antallet af bælg pr. plante.

I frøbælgplanter dannes betydeligt flere bælg end planterne er i stand til at forsyne med assimilationsprodukter. En vis andel af bælgene aborteres derfor. I 1980 blev bælgene talt efter afsluttet blomstring og ved modenhed (tabel 2.8). Efter blomstring (3. høst) havde N-gødskning øget antallet af bælg, dog ikke signifikant (tabel 2.8). Ved modenhed (5. høst) var der imidlertid ikke forskel på de to N-niveauer. Således aborteredes ca. dobbelt så mange bælg hos N-gødet kogeært og hestebønne end det var tilfældet hos de ugødede frøbælgplanter.

2.2.2. Kvælstofkoncentration og -udbytte

Det procentiske indhold af kvælstof i overjordisk biomasse og rod + stub ved 1. høst blev reduceret signifikant som følge af N-gødskning i 1981 (tabel 2.9).

Tabel 2.10 viser kvælstofkoncentrationen i de forskellige plantedele ved modenhed. Kvælstofgødskning havde ikke signifikant indflydelse på det procentiske kvælstofindhold i de overjordiske plantedele. I 1981 reducerede N-gødskning kvælstofindholdet i ærterod og -stub signifikant ($P < 0,001$). Kvælstofkoncentrationen i overjordiske plantedele af kogeært var negativt korreleret til frøudbyttet (tabel 2.6 og 2.10). I år med høje ærteudbytter var især kvælstofindholdet i ærtehalv og tomme bælg betydeligt lavere end i år med et mindre frøudbytte af ært.

Tabel 2.7. Udbyttekomponenter i koge- og foderært samt hestebønne. 1980-1982.

Frø- bælgplante	Kg N pr. ha	Udbyttekomponenter				
		Planter pr. m ² ^Δ	Bælge pr. m ²	Bælge pr. plante ⁺	Frø pr. bælg [§]	1000-korns- vægt (g)
<hr/>						
1980						
"Bodil"	0	66	513	7,8	3,9	229
	50	60	491	8,2	3,5	210
"Timo"	0	87	416	4,8	3,5	162
	50	91	449	4,9	3,6	164
"Diana"	0	60	506	8,4	3,0	354
	50	62	511	8,2	2,9	351
<hr/>						
1981						
"Bodil"	0	68	488	7,2	3,7	240
	50	62	475	7,7	3,9	227
"Timo"	0	95	520	4,9	4,7	175
	50	93	454	4,9	4,7	184
"Diana"	0	36	507	14,4	2,9	353
	50	40	557	13,9	2,7	351
<hr/>						
1982						
"Bodil"	0	87	586	6,8	4,2	289
	50	91	612	6,9	4,3	296
"Timo"	0	119	588	5,0	3,5	208
	50	113	698	6,2	3,5	214
"Diana"	0	65	502	7,9	2,5	362
	50	69	518	7,6	2,5	370

Δ Antal fremspirede planter.

+ Beregnet fra antal fremspirede planter og antal bælg pr. parcel.

§ Beregnet fra frøudbytte, 1000-kornsvægt og antal bælg.

Tabel 2.8. Antal bølge pr. m² ved afsluttet blomstring (3. høst: "Bodil" 16/7, "Timo" og "Diana" 28/7) og ved modenhed (5. høst: "Bodil" og "Timo" 8/8 og "Diana" 27/8). 1980.

Frø- bælgplante	kg N pr. ha	Antal bølge/m ²		% af dannede bølge "tabt"
		3. høst	5. høst	
"Bodil"	0	564	513	9,0
	50	615	491	20,2
"Timo"	0	527	416	21,1
	50	559	449	19,7
"Diana"	0	596	506	15,1
	50	705	511	27,5

Tabel 2.9. Kvalstofkoncentration, % N i tørstof, ved blomstring/tidlig bælgfyldning i overjordisk biomasse og rod + stub. 1980-1982.

Frø- bælgplante	Kg N pr. ha	Forsøgsår			Gns.
		1980	1981	1982	
Overjordisk biomasse					
"Bodil"	0	2,83	4,26	2,91	3,34
	50	3,11	3,85	2,76	3,24
"Timo"	0	2,95	3,59	3,38	3,31
	50	3,02	3,32	3,32	3,22
"Diana"	0	2,93	3,75	3,48	3,39
	50	2,89	3,54	3,37	3,27
Rod + stub					
"Bodil"	0	1,82	4,72	2,81	3,27
	50	1,96	3,87	2,48	2,77
"Timo"	0	2,39	3,90	3,05	3,17
	50	2,40	3,66	2,89	3,05
"Diana"	0	2,04	3,33	2,13	2,44
	50	2,30	2,85	2,14	2,34

Tabel 2.10. Kvalstofkoncentration, % N i tørstof, ved modenhed i overjordiske plantedele og rod + stub. 1980-1982.

Frø- bælgplante	Kg N pr. ha	Forsøgsår			Gns.
		1980	1981	1982	
Frø					
"Bodil"	0	3,94	3,89	3,81	3,88
	50	4,06	3,75	3,73	3,85
"Timo"	0	4,22	4,09	4,51	4,27
	50	4,43	4,05	4,42	4,30
"Diana"	0	4,55	4,58	4,46	4,53
	50	4,60	4,63	4,52	4,59
Tomme bælge					
"Bodil"	0	1,44	1,58	0,97	1,33
	50	1,83	1,45	0,90	1,39
"Timo"	0	2,35	1,48	1,87	1,90
	50	2,42	1,32	1,76	1,83
"Diana"	0	1,32	1,31	1,29	1,32
	50	1,25	1,16	1,36	1,26
Stængel + blade [§]					
"Bodil"	0	2,15	2,35	1,26	1,92
	50	2,49	2,65	1,13	2,09
"Timo"	0	2,56	2,16	1,90	2,21
	50	2,53	1,69	1,73	1,98
"Diana"	0	0,95	1,16	0,60	0,90
	50	0,90	1,24	0,67	0,94
Rod + stub					
"Bodil"	0	2,16	2,02	2,06	2,08
	50	1,86	1,82	1,93	1,87
"Timo"	0	2,50	2,44	2,25	2,39
	50	2,5	2,03	2,18	2,15
"Diana"	0	1,06	0,99	0,98	1,01
	50	0,98	1,05	1,06	1,03

[§] Hestebønneblade ikke inkluderet.

Hestebønneblade var ikke inkluderet i stængel + bladfraktionen (tabel 2.10), da alle blade var faldet af ved modenhed. I 1982 blev bladene opsamlet og analyseret for næringsstoffer (tabel 2.11). Bladenes procentiske kvælstofindhold var i 1982 ca. 2.2%, således at mængden af kvælstof i disse udgjorde ca. 3,4 g N pr. m².

Tabel 2.11. Tørvægt, g pr. m², og næringsstofkoncentrationer, i % af tørstof, og relative bidrag fra forskellige N-kilder til total-N i hestebønneblade opsamlet ved modenhed. 1982.

Parameter	N-gødskning	
	N ₀	N ₅₀ *
Tørstof, g pr. m ²	141	164
% N	2,19	2,17
% P	0,15	0,15
% K	2,10	2,28
% Na	0,07	0,06
% Ca	2,97	2,93
% Mg	0,30	0,32
Total N i blade, g N pr. m ²	3,08	3,58
N fra gødning, %	-	9,9
N fra jord, %	-	25,5
N fra N ₂ -binding, %	-	63,6
N fra N ₂ -binding, g N pr. m ²	-	2,3

* Mærket med ¹⁵N.

Akkumulering af kvælstof gennem vækstperioden 1980 er vist i fig. 2.3. Mængden af kvælstof i stængel og -blade af ært formindskedes noget efter blomstring/tidlig bælgyldning, hvilket formentlig skyldes at mobiliseringen af N fra disse plantedele til bæg og frø efter dette tidspunkt, 30-40 dage efter begyn-

dende blomstring. I hestebønne fortsatte kvælstofakkumulering i blade og stængel efter blomstring. Det skarpe fald i kvælstofmængden i hestebønneblade og stængel efter 3. høst skyldtes foruden mobilisering af kvælstof fra blade til frø også bladfald.

Figur 2.4 viser fordelingen af det totale kvælstofudbytte på plantedele ved modenhed, som gennemsnit af år. Det største høstindeks for N blev fundet for hestebønne, hvor 82% af total-N blev fundet i frø uafhængigt af kvælstofniveauet. I kogeært fandtes i gennemsnit 73% af total-N i frøene, og i foderært ca. 61%. Det fremgår af fig. 2.4, at tilførsel af N-gødning ikke havde signifikant indflydelse på fordelingen af total-N mellem de forskellige plantedele.

2.2.3. Næringsstofkoncentrationer

I 1980 blev frøbælgplanternes overjordiske biomasse og rod + stub analyseret for P, K, Ca og Mg gennem vækstsæsonen, samt for Na i rod + stub. I de følgende år blev næringsstofanalyser foretaget ved høst omkring blomstring/tidlig bælgfyldning og ved modenhed. I fig. 2.5 er vist ændringen i koncentration af forskellige næringsstoffer i overjordisk biomasse. I tabel 2.12 er næringsstofkoncentrationer i forskellige plantedele ved modenhed vist som gennemsnit af 3 års forsøg.

P-koncentrationen i overjordisk biomasse var gennemgående højere i foderært end i kogeært og hestebønne, hvilket fremgår af fig. 2.5 og tabel 2.12. Totaloptagelsen af P i foderært var imidlertid lavere end i kogeært og hestebønne. Mængden af P høstet i overjordiske plantedele ved modenhed var i gennemsnit af år og N-niveauer: 3,2, 2,9 og 3,3 og P pr. m² for hhv. kogeært, foderært og hestebønne, hvoraf hhv. 77, 64 og 89% fandtes i frøene.

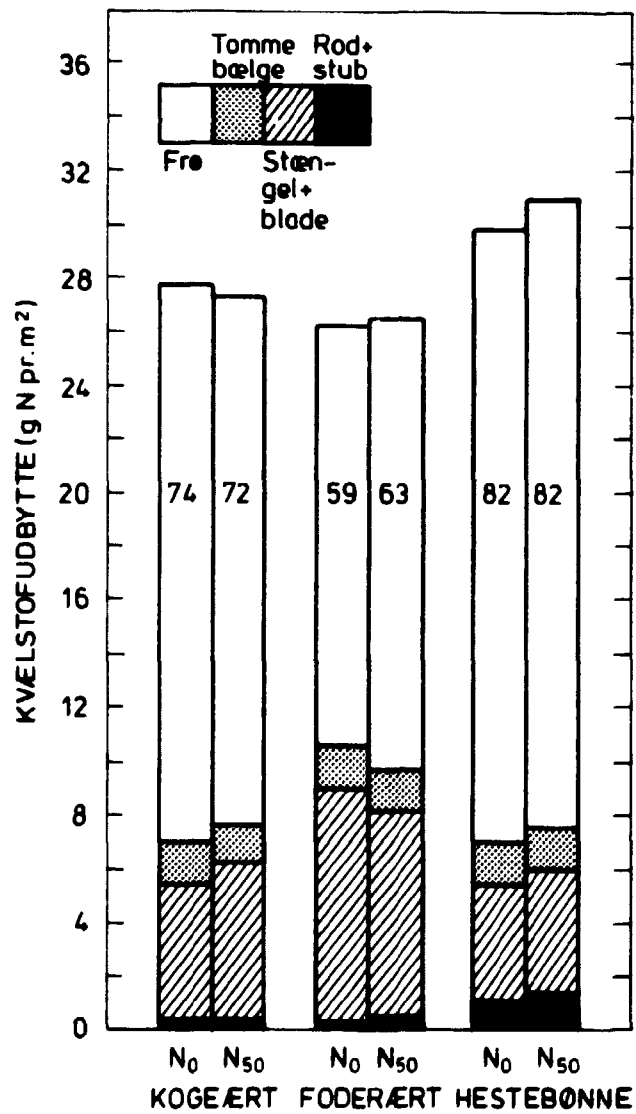


Fig. 2.4. Kvalstofudbytte, g N pr. m², i forskellige plantedele. Høstindeks for kvalstof er vist i søjlediagrammet. I hestebønne var blade ikke inkluderet i stængel + bladfraktionen. Gennemsnit af 3 års forsøg.

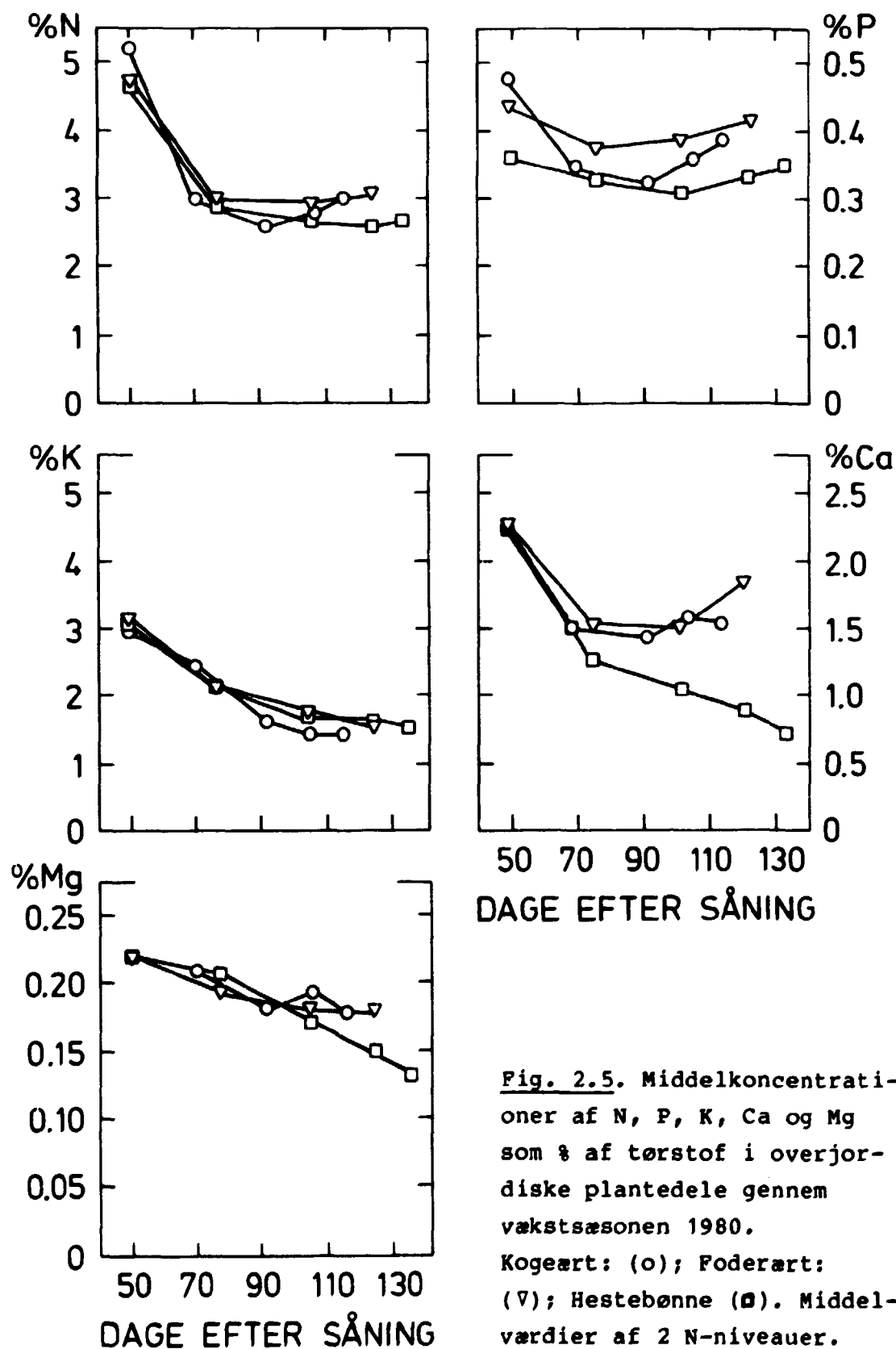


Fig. 2.5. Middelkoncentrationer af N, P, K, Ca og Mg som % af tørstof i overjordiske plantedele gennem vækstsæsonen 1980. Kogært: (o); Foderært: (▽); Hestebønne (◻). Middelværdier af 2 N-niveauer.

Tabel 2.12. Middelkoncentrationer, i % af tørstof, af P, K, Na, Ca og Mg ved modenhed i overjordiske plantedele og rod + stub. Gennemsnit af tre forsøg.

Frø- bælgplante	Kg N pr. ha.	Næringsstof (% i tørstof)				
		P	K	Na*	Ca	Mg
<hr/>						
<u>Frø</u>						
"Bodil"	0	0,49	1,24	0,01	0,07	0,13
	50	0,50	1,22	0,01	0,07	0,13
"Timo"	0	0,52	1,24	0,01	0,07	0,13
	50	0,52	1,24	0,01	0,07	0,13
"Diana"	0	0,57	1,22	0,01	0,09	0,12
	50	0,58	1,25	0,01	0,09	0,12
 <u>Tomme bælg</u>						
"Bodil"	0	0,12	1,45	0,02	2,27	0,27
	50	0,14	1,46	0,02	2,29	0,28
"Timo"	0	0,15	1,80	0,02	1,87	0,25
	50	0,15	1,76	0,02	1,67	0,26
"Diana"	0	0,06	3,26	0,04	0,07	0,19
	50	0,07	3,30	0,05	0,06	0,19
 <u>Stængel + blade§</u>						
"Bodil"	0	0,18	2,04	0,05	3,13	0,20
	50	0,20	1,64	0,05	3,39	0,22
"Timo"	0	0,23	1,75	0,06	2,50	0,16
	50	0,22	1,69	0,06	2,44	0,17
"Diana"	0	0,07	1,36	0,20	1,34	0,12
	50	0,07	1,37	0,19	1,34	0,12
 <u>Rod + stub</u>						
"Bodil"	0	0,17	1,10	0,11	2,45	0,14
	50	0,16	0,94	0,09	2,41	0,15
"Timo"	0	0,21	0,69	0,13	2,25	0,16
	50	0,20	0,74	0,18	2,23	0,16
"Diana"	0	0,07	0,90	0,23	0,56	0,07
	50	0,07	0,93	0,26	0,58	0,08

* Alle plantedele undtagen rødder er gennemsnit af to forsøg (1981 og 1982).

§ Hestebønneblade ikke inkluderet (jfr. tabel 12).

Kaliumkoncentrationen i overjordisk biomasse faldt jævnt gennem vækstsæsonen (fig. 2.4). Ved høst omkring blomstring/tidlig bælgyldning (data ikke vist) og ved modenhed (tabel 2.12) viste analyserne, at K-indholdet i stængel + blade af kogeært var reduceret ved N-gødskning, men der var en tendens til, at N-gødskning øgede K-indholdet i hestebønne (tabel 2.12). K-koncentrationen i hestebønnens tomme bælg var bemærkelsesværdig høj sammenlignet med andre hestebønneplantedele og ærternes tomme bælg. Ved modenhed høstes: 13,8, 13,0 og 15,6 g K pr. m² i hhv. kogeært, foderært og hestebønne.

Na-koncentrationen i overjordisk biomasse ved høst omkring blomstring/tidlig bælgyldning var 0,03, 0,05 og 0,15% i hhv. kogeært, foderært og hestebønne. Tilsvarende indhold i rod- + stubtørstof var 0,28, 0,57 og 0,40% Na som gennemsnit af år og N-niveauer. Ved modenhed var Na-koncentrationen ligeledes størst i rod + stub og ca. 4 gange så stor i hestebønnehalm som i ærte-halm. Ved modenhed høstes: 0,2, 0,3 og 0,7 g Na pr. m² i overjordiske plantedele af hhv. kogeært, foderært og hestebønne.

Ved 1. høst (blomstring/tidlig bælgyldning) var der en markant tendens til, at Ca-koncentrationen i biomasse og rod + stub af ært, især i kogeært, var højere som følge af N-gødskning (data ikke vist). Ca-indholdet i hestebønnes vegetative plantedele var betydeligt lavere end i ært, men ikke påvirket af N-gødskning. Ca-koncentrationen i hestebønneblade var betydeligt højere end i de øvrige plantedele (tabel 2.11). At en betydelig del af Ca i hestebønne var lokaliseret i bladene, fremgår også af fig. 2.5, idet reduktion i Ca-koncentrationen formentligt skyldes bladfald. Ca-koncentrationen i ærternes vegetative dele ved modenhed var betydeligt højere end i hestebønne og højere i kogeært end i foderært, som gennemsnit af år (tabel 2.12). I kogeært var der i lighed med 1. høst en tendens til, at Ca-koncentrationen var højest ved N-gødskning. Den totale mængde af Ca høstet i overjordiske plantedele af kogeært var 11,8 og 13,3 g Ca pr. m² (gennemsnit af 3 forsøg) hhv. uden og med tilførsel af 50 kg N/ha. I foderært og hestebønne høstes i gennemsnit af N-niveauer 11,6 og 6,4 g Ca pr. m² i de overjordiske plantedele.

Koncentrationen af Mg faldt gennem vækstsæsonen, mest i hestebønne (fig. 2.5), formentlig på grund af bladfald, idet Mg-koncentrationen i blade var betydeligt større (tabel 2.11) end i stængel (tabel 2.12). Der var en tendens til, at N-gødskning øgede Mg-koncentrationen i ært, især i kogeært. Således var der ved modenhed akkumuleret: 1,5 og 1,7 g Mg pr. m² i kogeært hhv. uden og med N-gødskning, og i gennemsnit af N-niveauer i foderært og hestebønne: 1,3 g Mg pr. m².

2.2.4. Udnyttelse af N-ressourcer

N-optagelse og atom % ¹⁵N-excess i vårbyg er vist i tabel 2.13 sammen med estimerede "A"-værdier ved 1. høst (skridning svarende til blomstring/tidlig bælgfyldning i frøbælgplanterne) og ved modenhed. ¹⁵N-berigelsen var lavere i rod + stub end i overjordiske plantedele, og i både rødder og overjordiske plantemateriale reduceredes ¹⁵N-berigelsen fra skridning til modenhed. Dette var forårsaget af, at den stadigt forløbende mineralisering af umærket organisk jord-N stiller N til rådighed for planterne på et tidspunkt, hvor hovedparten af det ¹⁵N-mærkede N er optaget.

I gennemsnit af de tre år havde byg uden tilførsel af N-gødning ved skridning optaget ca. 60% af den totale mængde kvælstof høstet ved modenhed. Byg tilført 50 kg N pr. ha havde tilsvarende optaget 80% af den endelige N-optagelse (tabel 2.13). Dette mønster for N-optagelse ved tilførsel af N-gødning afveg betydeligt fra N-optagelsen i kogeært, foderært og hestebønne (jfr. fig. 2.3), der ved blomstring/tidlig bælgfyldning kun havde assimileret hhv. ca. 43, 59 og 36% (gennemsnit af 3 år) af den mængde kvælstof, der høstedes ved modenhed.

Optagelsen af jord-N i byg forøgedes ved tilførsel af kvælstofgødning, ca. 20 og 3% (gennemsnit af år) ved hhv. skridning og modenhed (tabel 2.13). At forskellen var størst ved skridning, var forårsaget af, at den ugødede byg optog mere kvælstof efter skridning end den gødede byg. Det ses yderligere af tabel 2.13, at mængden af genfundet ¹⁵N-gødning i byg var ca. 6,5% lavere (gennemsnit af år) ved modenhed sammenlignet med skridning.

Tabel 2.13. Atom % ^{15}N -excess, total-N, % af ^{15}N -gødning genfundet i afgrøde (Fu_R) og beregnede "A"-værdier for vårbyg. 1980-1982. Middelværdi af tre gentagelser \pm standardafvigelse på middelværdien.

Høst- tidspunkt, år	Atom % ^{15}N -excess				Total-N ^S			% af ^{15}N genfundet i afgrøde Fu _R	"A"- værdi*
	Rod + stub	(Skud) halm	Stak	Kerne	N ₀	N ₅₀			
						jord	gødning		
<hr/>									
	Atom % ^{15}N -excess				g N pr. m ²			%	g N/m ²
<hr/>									
<u>Skridning (1. høst)</u>									
1980	1,00±0,12	1,57±0,26			5,1±0,2	6,0±1,4	4,1±0,2	85,6±3,9	7,4
1981	1,21±0,10	1,33±0,05			4,3±0,2	5,4±0,1	2,9±0,1	65,6±2,2	9,2
1982	1,37±0,06	1,45±0,07			4,4±0,3	5,2±0,2	3,5±0,3	76,1±6,2	7,5
 <u>Modenhed (2. høst)</u>									
1980	0,68±0,11	1,20±0,06	1,20±0,08	1,23±0,12	8,3±0,9	8,5±0,7	3,9±0,1	83,2±0,8	11,0
1981	0,88±0,04	1,07±0,05	1,01±0,05	1,07±0,09	6,7±0,1	6,9±0,5	2,7±0,1	57,6±1,9	12,6
1982	0,99±0,05	1,09±0,10	0,90±0,08	1,01±0,08	8,3±1,8	8,5±1,1	3,2±0,2	67,8±3,9	12,9

§ Overjordisk biomasse.

* Inklusiv ^{15}N i høstet rod + stub materiale.

Atom % ^{15}N -excess i de tre frøbælgplanter ved blomstring/tidlig bælgfyldning og modenhed i de tre forsøgsår er vist i tabel 2.14. Variationskoefficienten på middelværdierne i tabel 2.14 var i gennemsnit af år, høsttider og frøbælgplantearter og plantedele ca. 12%. Der var en tendens til, at variationskoefficienterne var mindst i hestebønne og mindre i stængel + blade end i de øvrige plantedele ved modenhed. Atom % ^{15}N -excess i rødder var ved blomstring/tidlig bælgfyldning lavere end i skud (tabel 2.14) og ved modenhed lavere med enkelte undtagelser end i stængel + blade. Ved modenhed var ^{15}N -berigelsen størst i stængel + blade, hvilket viser, at N-gødning bidrager relativt mere til total-N i vegetative end reproduktive plantedele.

Tabel 2.14. Atom % ^{15}N -excess i forskellige plantedele ved blomstring/tidlig bælgfyldning (1. høst) og modenhed (2. høst). 1980-1982.

Frø- bælgplante	År	1. høst		2. høst			Frø
		Rod	Skud	Rod	Stængel + blade [§]	Tomme bælge	
"Bodil"	1980	0,79	0,98	0,53	0,68	0,49 ⁺	
	1981	0,61	0,71	0,65	0,50	0,47	0,43
	1982	0,51	0,72	0,52	0,56	0,37	0,34
"Timo"	1980	0,72	0,86	0,54	0,68	0,63 ⁺	
	1981	0,72	0,62	0,69	0,64	0,49	0,48
	1982	0,56	0,65	0,54	0,54	0,37	0,35
"Diana"	1980	0,46	0,77	0,41	0,43	0,34 ⁺	
	1981	0,53	0,57	0,42	0,44	0,37	0,28
	1982	0,56	0,61	0,48	0,51	0,60	0,37

⁺ ^{15}N analyse blev foretaget på bælge og frø under ét.

[§] Hestebønneblade var ikke inkluderet.

Ved anvendelse af "A"-værdierne (tabel 2.13) estimeredes bidragene fra de forskellige N-kilder: gødnings-N, jord-N, udsæds-N og symbiotisk N_2 -binding, til forsyningen af de tre frøbælgplantearter som beskrevet i afsnit 2.1.2. Figur 2.6 viser de absolutte størrelser af bidragene fra de forskellige N-kilder til total-N i overjordiske plantedele ved høst omkring blomstring/tidlig bælgyldning og ved modenhed. Det relative bidrag fra den symbiotiske N_2 -binding til total-N på de to høsttidspunkter er vist i tabel 2.15. I denne tabel er der desuden foretaget et skøn over kvælstofbindingen uden tilførsel af N-gødning. Dette skøn fremkommer ved subtraktion af bidragene fra jord-N, estimeret ved ^{15}N -gødningstilførsel, og udsæds-N fra total-N i bælgplanter uden tilførsel af N-gødning. Tabellen viser desuden gødningsudnyttelsen (Fu_L) i overjordiske plantedele af de tre frøbælgplanter. I tabel 2.16 er vist, hvorledes de forskellige N-kilder bidrager relativt til N-forsyningen af de forskellige plantedele ved modenhed. Da formentlig kun en mindre del af det totale rodmateriale blev høstet, og frøkorrektion blev anvendt, var det ikke muligt at bestemme bidraget fra symbiotisk N_2 -binding til total-N i rødder af ært. I tabel 2.11 ses, hvorledes de forskellige N-kilder har bidraget til N-forsyning af de opsamlede hestebønneblade i 1982.

Optagelsen af gødnings- og jordkvælstof samt symbiotisk kvælstofbinding ved blomstring/tidlig bælgyldning var størst i "Timo" foderært (fig. 2.6). Det må dog erindres, at foderært og hestebønne blev høstet en uge senere end kogeært i alle år. Ved modenhed var optagelsen af uorganisk N dog også størst i foderært. Hestebønne optog en mindre andel af de uorganiske N-ressourcer end de to ærtetyper. Således gen fandtes i gennemsnit af år kun ca. 53% af det tilførte gødnings-N i overjordiske plantedele af hestebønne ved modenhed i modsætning til hhv. 62 og 70% i kogeært og foderært (tabel 2.15). I 1982 fandtes 7% af den tilførte N-gødning i de opsamlede hestebønneblade (jfr. tabel 2.11).

Tabel 2.15. Total-N, g N pr. m², i overjordiske plantedele af "Bodil" kogeart, "Timo" foderart og "Diana" hestebønne ved blomstring/tidlig bælgyldning og modenhed, % af total-N fra kvælstofbinding (% Ndfa) og % af tilført ¹⁵N-gødning genfundet i overjordiske plantedele (F_{up}) 1980-1982. Middelværdi af tre gentagelser ± standardafvigelse på middelværdien.

Høsttidspunkt/ År	Frø- bælgplante	N-gødskning				
		0 kg N/ha		50 kg N/ha		Fur
		Total-N	% Ndfa*	Total-N	% Ndfa	
Blomstring/ tidl.bælgfyldn.		g N/m ²	%	g N/m ²	%	%
<u>1980</u>	"Bodil"	9,1±0,5	50,5	10,4±0,4	31,3±2,5	52,7±2,6
	"Timo"	14,2±0,7	60,6	14,9±0,5	40,2±1,4	66,8±2,0
	"Diana"	10,6±0,4	61,3	11,6±0,6	44,1±6,2	46,6±6,1
<u>1981</u>	"Bodil"	12,0±0,7	69,2	10,2±0,4	44,5±5,1	37,9±3,3
	"Timo"	14,8±0,6	70,9	13,4±0,2	51,7±3,6	44,1±3,0
	"Diana"	6,7±0,5	73,1	5,5±0,3	52,6±3,1	16,4±1,5
<u>1982</u>	"Bodil"	14,5±0,6	66,2	15,1±0,8	48,2±3,5	58,1±2,1
	"Timo"	18,1±0,3	66,9	20,6±0,5	54,0±3,5	72,6±8,3
	"Diana"	13,9±0,2	69,8	15,0±0,1	55,7±1,0	49,1±1,7
<u>Modenhed</u>						
<u>1980</u>	"Bodil"	25,9±0,8	69,5	24,2±0,7	52,8±1,9	69,3±2,4
	"Timo"	22,4±1,9	59,4	23,5±1,7	43,8 ⁺ -	79,4 ⁺ -
	"Diana"	30,3±0,3	78,8	29,3±0,1	68,8±0,3	54,0±0,8
<u>1981</u>	"Bodil"	24,0±1,2	71,7	24,4±2,6	62,1±3,9	51,4±11,0
	"Timo"	27,3±2,9	70,0	22,6±0,6	49,7±6,4	62,7±8,4
	"Diana"	29,4±0,6	78,3	29,9±1,7	70,2±2,3	48,2±1,3
<u>1982</u>	"Bodil"	32,3±0,8	72,1	33,7±1,8	63,7±2,5	65,9±7,0
	"Timo"	28,4±0,7	66,9	32,3±1,5	60,4±1,7	68,7±1,3
	"Diana"	26,7±1,0	71,9	25,2±1,3	59,8±0,2	57,0±0,6

* Forudsætningen for dette estimat er, at optagelsen af jordkvælstof er uafhængigt af N-gødningsniveau.

+ Kun 1 observation.

Tabel 2.16. Procentiske andele af total-N i forskellige plantedele hidrørende fra N-gødning (% Ndff), fra jord (% Ndfs) og fra kvælstofbinding (% Ndfa) ved tilførsel af 50 kg N/ha. Modenhed 1980-1982. Middelværdier af tre gentagelser.

År	Frø- bælgplante	Kvælstof- ressource§	Plantedel			
			Frø	Tomme bælge	Stængel ⁺⁺ + blade	Rod+ Stub
<u>1980</u>	"Bodil"	% Ndff	12,8 ⁺		17,7	13,7
		% Ndfs	28,2		39,0	30,2
		% Ndfa	58,1		41,2	*
	"Timo"	% Ndff	16,3		17,7	14,0
		% Ndfs	36,0		39,0	30,8
		% Ndfa	46,6		41,6	*
	"Diana"	% Ndff	8,9		11,1	ND
		% Ndfs	19,6		24,6	ND
		% Ndfa	70,5		58,0	ND
<u>1981</u>	"Bodil"	% Ndff	11,3	12,3	13,1	17,2
		% Ndfs	28,4	31,1	33,0	43,3
		% Ndfa	59,5	54,2	51,4	*
	"Timo"	% Ndff	12,8	12,9	16,9	18,1
		% Ndfs	32,2	32,6	42,6	45,7
		% Ndfa	54,2	51,1	37,7	*
	"Diana"	% Ndff	7,5	9,7	11,6	11,2
		% Ndfs	18,9	24,4	29,3	28,2
		% Ndfa	73,1	63,8	54,7	8,6
<u>1982</u>	"Bodil"	% Ndff	9,1	10,0	15,0	13,9
		% Ndfs	23,4	25,8	38,7	35,7
		% Ndfa	66,9	60,9	40,0	*
	"Timo"	% Ndff	9,5	9,9	14,6	14,5
		% Ndfs	24,6	25,4	37,6	37,5
		% Ndfa	65,1	62,2	44,6	*
	"Diana"	% Ndff	10,0	16,0	11,6	13,0
		% Ndfs	25,8	41,3	29,8	33,6
		% Ndfa	63,4	39,9	55,1	13,3

⁺ I 1980 blev frø og bælg analyseret for ¹⁵N under ét.

* Da formentlig kun en mindre del af stub + rod materialet er høstet i ærter, vil anvendelse af frøkorrektion medføre, at % Ndfa i rødder ikke kan beregnes.

§ % Ndff: procentisk andel af total-N hidrørende fra udsæd er ikke anført.

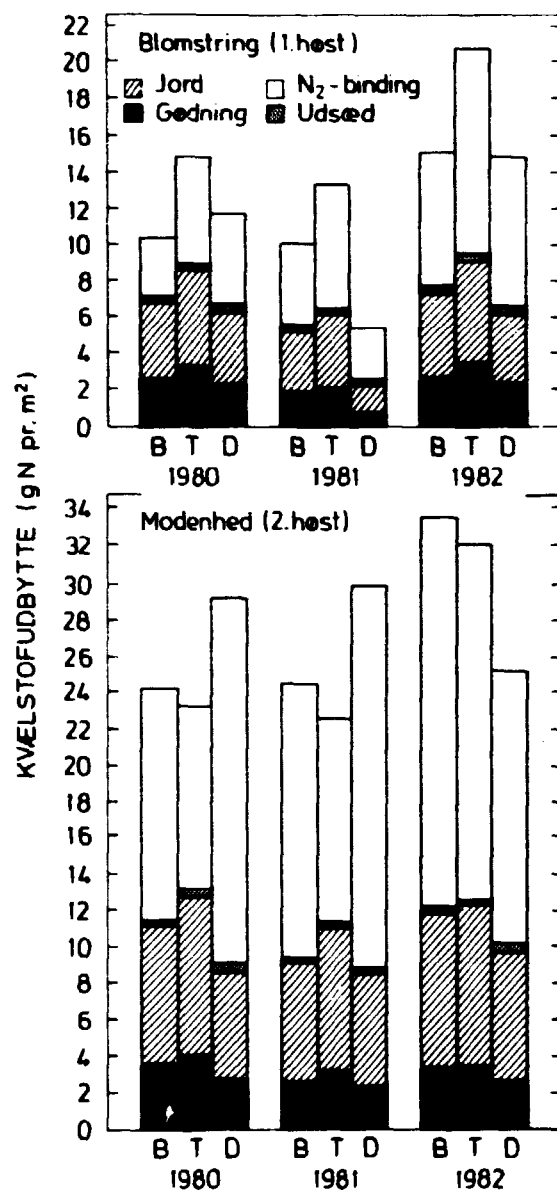


Fig. 2.6. Bidrag fra symbiotisk N₂-binding, gødnings-N, jord-N og udsæds-N i overjordiske plantedele af de tre frøbælgplanter: "Bodil" kogeært (B), "Timo" foderært (T) og "Diana" hestebønne (D) ved blomstring/tidlig bælgyldning og modenhed. 50 kg N pr. ha tilført som nitrat. 1980-1982.

Bidragene fra hhv. uorganiske N-kilder (jord og gødning) og symbiotisk N_2 -binding udgjorde omtrent lige store andele af total-N ved blomstring/tidlig bælgfyldning (fig. 2.6 og tabel 2.15). Således udgjorde symbiotisk N_2 -binding på dette tidspunkt 41, 49 og 51% af total-N i hhv. kogeært, foderært og hestebønne. Ved modenhed var kvælstof hidrørende fra symbiotisk N_2 -binding den dominerende N-kilde, idet kvælstofbindingen udgjorde 60, 51 og 66% af total-N i hhv. kogeært, foderært og hestebønne i gennemsnit af år. Ved modenhed var estimatet for kvælstofbindingen størst i hestebønne, 18,7 g N pr. m^2 mod hhv. 16,5 og 13,6 g N pr. m^2 i hhv. koge- og foderært i gennemsnit af år. Uden tilførsel af kvælstofgødning blev den symbiotiske N_2 -binding ved blomstring/tidlig bælgfyldning skønnet til at udgøre ca. 62, 66 og 68% af total-N i kogeært, foderært og hestebønne og hhv. 71, 65 og 76% af total-N ved modenhed (tabel 2.15).

Gødnings-N bidrager relativt mindst til N-forsyningen af frø og symbiotisk kvælstofbinding mest, især i hestebønne, hvor 63-73% af total-N hidrører fra N_2 -binding (tabel 2.16). Tilsvarende bidrog N_2 -binding med 58-67% af total-N i frø af kogeærter og med 47-65% af N i frø af foderærter. Det ses, at det relative bidrag fra gødnings- og jordkvælstof er størst i stængel + blade, hvilket formentligt skyldes, at de uorganiske N-ressourcer havde større betydning for N-forsyningen i den vegetative og tidlige reproduktive fase end under selve bælgfyldningen.

2.3. Diskussion og konklusioner

Frøbælgplanter betragtes som værende dyrkningsusikre afgrøder. Udbyttet af "Bodil" kogeært og "Timo" foderært varierede også betydeligt i de udførte forsøg. I tabel 2.17 er vist gennemsnitsudbyttet, g pr. m^2 (hkg pr. ha = g pr. $m^2/10$), med variationskoefficienten (CV) på gennemsnitsudbyttet som et simpelt udtryk for udbyttevariationen. Udbytte og variationskoefficient for "Nery" vårbyg er vist for sammenligning.

Tabel 2.17. Gennemsnitsudbytte og procent råprotein i frø af "Bodil" og "Timo" ært, "Diana" hestebønne samt "Nery" vårbyg. 1980-1982.

Frøbælg- plante	kg N pr. ha	Frøudbytte g/m ²	CV* %	% Råprotein frø
"Bodil"	0	536	27	24,3
	50	514	39	24,1
"Timo"	0	366	32	26,7
	50	394	32	26,9
"Diana"	0	502	9	28,3
	50	511	5	28,7
<hr/>				
"Nery" byg	0	413	14	9,4
	50	544	14	10,1

* Variationskoefficient.

Det ses, at udbyttevariationen i "Diana" hestebønne var mindre end i "Nery" byg, men hestebønneudbyttet er normalt mere variabelt end bygudbyttet (se f.eks. Hebblethwaite, 1983). Variationen i ærteudbyttet var formentlig forårsaget af de forskellige vækstbetingelser i 1980-1982. Karakteristisk for 1982, hvor ærterne ydede betydeligt mere end i 1980/81, var bl.a. en lavere temperatur og megen nedbør tidligt i den vegetative vækstfase og omkring blomstring og næsten ingen nedbør i bælg- og frøindlejringsperioden (fig. 2.1). Stanfield et al. (1965) fandt, at forholdsvis lave temperaturer i den vegetative vækstfase stimulerede skuddannelsen i ært. Salter og Drew (1965) påpegede, at nedbør (eller vanding) er af stor betydning omkring blomstring,

da ærterne på grund af ringe roddybde er særdeles sensitive over for vandmangel på dette tidspunkt. Ingen nedbør i bølge- og frøindlejringsperioden var ensbetydende med mange solskinstimer og høj temperatur, hvilket formentlig øgede fotosyntesen. Ærter er særdeles afhængige af fotosyntesen i den reproduktive vækstperiode, idet kulstof assimileret før blomstring, i modsætning til kvælstof, ikke kan mobiliseres fra de vegetative plantedele til frøet (Pate og Flinn, 1973). I 1980 og 1981 faldt hovedparten af vækstsæsonens nedbør i den reproduktive vækstfase (fig. 2.1). Megen nedbør kan forårsage omfattende angreb af patogener som f.eks. gråskimmel, men betydningen af sådanne angreb for udbyttet er ikke afklaret.

Tilførsel af 50 kg N pr. ha ved såning havde ikke signifikant indflydelse på udbyttet af frøtørstof eller på råproteinindholdet ($\% N \times 6.25$) i frøene (tabel 2.17). Den vegetative vækst blev heller ikke påvirket på en entydig måde af kvælstofgødskning (jfr. tabel 2.5). Det initiale indhold af uorganisk jordkvælstof i de øverste 20 cm af jordprofilen varierede fra 31 kg N pr. ha i 1981 til 59 kg N pr. ha i 1980. Det bemærkes i denne sammenhæng (tabel 2.5), at tørstofudbyttet af de overjordiske plantedele ved afslutningen af den vegetative vækstfase var betydeligt større i 1980 end i 1981. Det er imidlertid tvivlsomt, om det højere uorganiske N-indhold i jorden i 1980 var årsag til den større vegetative vækst, idet N-gødskning i 1981 ikke øgede udbyttet. Mulder (1948) fandt, at kvælstofgødskning kan have en indflydelse på udbyttet af ært, hvis betingelserne for den symbiotiske N_2 -binding er ugunstige, f.eks. som følge af angreb af bladrandbillens larver. Angreb af bladrandbillens larver, der fortærer rodknoldene, har i nyere forsøg vist sig at have en negativ indflydelse på den symbiotiske N_2 -binding (Witty et al., 1980). I vore forsøg blev angreb af skadedyr og bladpatogener søgt bekæmpet så effektivt som muligt, men det blev imidlertid ikke undersøgt, om bladrandbillens larver havde forrettet skade på rodknoldene.

Sosulski og Buchan (1977) opnåede positive udslag i ært for tilførsel af 100 kg N pr. ha ved såning, men årsagen til dette var formentlig, at de få naturligt forekommende rodknoldbakterier

havde en lav N_2 -bindingseffektivitet. I vore forsøg var *Rhizobium leguminosarum* almindeligt forekommende med en gennemgående høj N_2 -bindingseffektivitet (Jensen et al. 1985). McEwen et al. (1981) og Richards og Soper (1982) fandt, at N-gødskning ikke havde signifikant indflydelse på udbyttet af kvælstof og råprotein i hestebønne.

N-gødskning med nitrat øgede optagelsen af Ca og Mg i ært og havde en tendens til at øge K-koncentrationen i hestebønne. Beusichem (1981) viste, at kationoptagelsen var betydeligt større i NO_3 -gødede ærter end i ærter, der havde symbiotisk N_2 -binding som eneste N-kilde. Dette er formentlig forårsaget af, at de NO_3 -gødede planter har et større behov for kationer som modioner til NO_3^- -ioner for at vedligeholde elektrisk neutralitet ved optagelse og opadgående transport af NO_3^- (Kirby og Mengel, 1978).

Den symbiotisk N_2 -binding i ært og hestebønne under markforhold angives at variere fra 69 til 133 kg N pr. ha i ært og fra 136 til 255 kg N pr. ha i hestebønne (jfr. tabel 1.1). I vore forsøg blev den symbiotiske N_2 -binding i ært og hestebønne vurderet ved blomstring/tidlig bælgfyldning (ca. 7 uger efter fremspiring i kogeært og ca. 8 uger efter fremspiring i foderært og hestebønne) samt ved modenhed. I nedenstående tabel er det samlede bidrag fra symbiotisk N_2 -binding til N-forsyning af frøbælgplanternes overjordiske biomasse vist for de to høsttider, når bælgplanterne blev tilført 50 kg ^{15}N -mærket kvælstof pr. ha.

Symbiotisk Kvælstofbinding

<u>Blomstring/tidlig bælgfyldning</u>			
kg N pr. ha			
	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>
Kogeært	33	45	73
Foderært	60	69	111
Hestebønne	51	29	84

<u>Modenhed</u>			
kg N pr. ha			
	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>
Kogeært	128	152	215
Foderært	103	112	195
Hestebønne	202	210	151

Det fremgår af tabellen, at den symbiotiske N₂-binding i ærter var størst i 1982. Kvælstofbindingen i hestebønne var derimod mindst i 1982 til trods for, at N₂-bindingen frem til 1. høst ved blomstring/tidlig bælgfyldning var størst i 1982. Dette kan skyldes vandmangel p.g.a. den ringe nedbørsmængde i juli måned (jfr. fig. 2.1). Ifølge Sprent et al. (1977), Sprent og Bradford (1977) og Witty et al. (1980) reduceres N₂-bindingsraten i hestebønne betydeligt i tørkeperioder.

Under de foreliggende forsøgsbetingelser opnåedes imidlertid estimater for N₂-bindingen i hestebønne, der var af samme størrelse som anført i litteraturen. Estimerne for den absolutte størrelse af N₂-bindingen i ært var gennemgående noget højere end hidtil publicerede resultater (se tabel 1.1). De gennemsnitlige bidrag fra symbiotisk N₂-binding til N-forsyning af "Bodil" kogeært, "Timo" foderært og "Diana" hestebønne ved modenhed med og uden tilførsel og 50 kg N pr. ha i ¹⁵N-mærket gødning.

	Symbiotisk N ₂ -binding			
	kg N pr. ha		% af total-N	
Frøbælgplante	N ₀ *)	N ₅₀	N ₀	N ₅₀
Kogært	195	165	71	60
Foderært	171	136	66	51
Hestebønne	220	187	76	66

*) Se tabel 2.15 for forudsætninger for estimat.

Witty (1983) fandt ved tilførsel af 30 kg N/ha (mærket med ¹⁵N) og anvendelse af raps som referenceafgrøde, at i ært udgjorde den symbiotiske N₂-binding ca. 57% af total-N. I disse forsøg udgjorde den symbiotiske N₂-binding i kogært ca. 60% af total N ved tilførsel af 50 kg N pr. ha og anvendelse af byg som referenceafgrøde. For hestebønne var der god overensstemmelse mellem estimer opnået af Fried et al. (1975, 1981, 1983) (se tabel 1.1) og vore forsøg med hensyn til det relative bidrag fra symbiotisk N₂-binding.

Ved modenhed udgjorde de uorganiske N-ressourcer en relativt større andel, ca. 49% i gennemsnit af år, af total-N i foderært end i kogært og hestebønne, i hvilke hhv. 40 og 34% af total-N hidrørte fra de uorganiske N-ressourcer. Foderært optog tilsyneladende også en større andel af de uorganiske N-ressourcer, hvilket fremgår af nedenstående tabel, der viser mængden af høstet gødnings-N og estimer for jord-N optagelsen ved modenhed (gennemsnit af år) for frøbælgplanter og vårbyg,

Afgrøde	N-ressource	
	Gødnings-N	Jord-N
	kg N pr. ha	
Kogært	31	75
Foderært	35	88
Hestebønne	26	63
Vårbyg	33	80

Tilsyneladende optog foderært en større del af de uorganiske ressourcer end vårbyg. Det må imidlertid pointeres, at mængden af genfundet gødnings-N i vårbyg blev reduceret fra 1. til 2. høst, mens optagelsen af gødnings-N forøgedes i frøbælgplanterne. Det er således vanskeligt at afgøre, om optagelsen af de uorganiske N-ressourcer reelt har været større i foderært. Hestebønne var den afgrøde, der tilsyneladende optog den mindste mængde af de uorganiske N-ressourcer, men det må i denne sammenhæng erindres, at ca. 13 kg N pr. ha hidrørende fra de uorganiske N-ressourcer blev fundet i de opsamlede hestebønneblade i 1982 (jfr. tabel 2.11). Det må endvidere understreges, at de anførte data for optagelsen af jordkvælstof er beregnet efter "A"-værdiprincippet, der bygger på en række forudsætninger. En af de vigtigste er, at de respektive mængder af tilgængelig ^{15}N -gødning og jord-N er ens for frøbælgplante og referenceafgrøde gennem hele vækstperioden (Fried og Broeshart, 1975). Dette er næppe altid tilfældet, for eksempel kan mængden af tilgængeligt jordkvælstof være relativt større for en referenceafgrøde med et stort og veludviklet rodsystem end for en afgrøde med et lille og dårligt udviklet rodsystem. Et andet forhold af overordentlig stor betydning ved anvendelse af ^{15}N -gødningsteknikken er, at referenceafgrøde og frøbælgplante har det samme tidsmæssige forløb for kvælstofoptagelse (Witty, 1983). Dette er afgørende, fordi ^{15}N -berigelsen af det uorganiske N i jorden reduceres i takt med planternes optagelse af uorganisk N, og den stadigt forløbende mineralisering af jordens organiske-N. En afgrøde, der har hovedparten af sin N-optagelse i den første del af vækstsæsonen, vil derfor optage uorganisk N med en højere berigelse end en afgrøde, der optager uorganisk N over hele vækstsæsonen eller sent i denne.

Byg havde i gennemsnit af år ved skridning (1. høst) optaget ca. 80% af den totale mængde N ved modenhed, hvorimod kogeært, foderært og hestebønne ved 1. høst havde optaget hhv. ca. 43, 59 og 36% af total-N ved modenhed. Tilsvarende havde byg, kogeært, foderært og hestebønne optaget hhv. 107, 78, 86 og 70% af den totale N-gødning målt ved modenhed (i byg blev mængden af genfundet ^{15}N -gødning reduceret fra 1. høst til modenhed). Dette antyder, at hovedparten af den uorganiske N-optagelse i byg

fundt sted i et tidsrum (frem til 1. høst) med en relativ høj ^{15}N -berigelse af jordens uorganiske N. I frøbælgplanterne fundt en relativt større del af den totale uorganiske N-optagelse sted efter 1. høst. Dette har muligvis medført, at den anvendte "A"-værdi beregnet ud fra byg har været for lav ved vurdering af den symbiotiske N_2 -binding i ært og hestebønne. Resultatet af en for lav "A"-værdi vil som før nævnt være, at den symbiotiske N_2 -binding i frøbælgplanterne overvurderes. Endvidere er byg formentlig i stand til at udnytte uorganisk N i dybere liggende jordlag end ært, på grund af længere rødder. Herved bliver forholdet mellem optaget gødnings- og jord-kvælstof muligvis mindre i byg end i frøbælgplanterne. Dette kan medføre en for stor "A"-værdi i forhold til ært. I hvilket omfang disse forhold vil opveje hinanden er uvist. Haak (1983) anfører, at havre muligvis er en bedre referenceafgrøde til ært end byg på grund af et tilsyneladende mere "overfladisk" rodsystem, der ligner ærts.

Richards og Soper (1979, 1982) antyder, at det i hestebønne er muligt at opnå rimelige estimater for den symbiotiske N_2 -binding ved differensmetoden og anvendelse af byg som reference. Witty (1983) anfører dog, at tilfældigheder spiller for stor en rolle til, at man generelt kan anbefale denne metode. Ved differensmetoden antages, at bælgplanter og referenceafgrøder optager samme mængde uorganisk N fra jorden. Ved at subtrahere total-N i referenceafgrøden fra total-N i bælgplanten opnås et estimat for N_2 -bindingen.

En sammenligning af estimater for N_2 -binding ved modenhed i tre frøbælgplanteafgrøder ved anvendelse af hhv. ^{15}N -isotopfortyndingsteknik og differensmetoden er vist i fig. 2.7. Det ses, at der er forholdsvis god overensstemmelse mellem de to metoder. I gennemsnit af de tre forsøgsår var den største afvigelse mellem de to metoder en ca. 12% undervurdering af den symbiotiske N_2 -binding ved anvendelse af differensmetoden. Differensmetoden synes generelt at overvurdere den symbiotiske binding i foderært og undervurdere den i kogeært og hestebønne. Dette er formentlig forårsaget af, at foderært optog en større del af de uorganiske N-ressourcer end byg, og at byg optog en større andel af de uorganiske N-ressourcer end kogeært og hestebønne. Da hovedparten

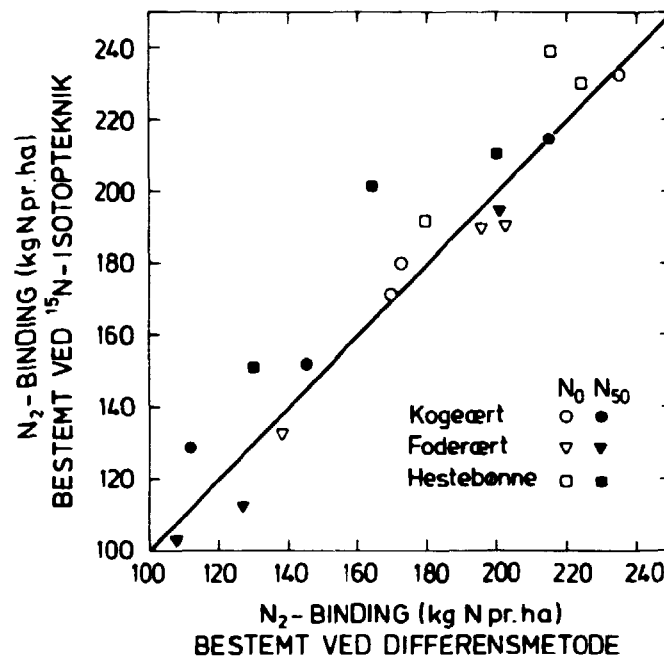


Fig. 2.7. Sammenligning af differensmetode og ¹⁵N-isotopfortyndingsteknik til vurdering af symbiotisk N₂-binding ved modenhed. Referenceafgrøde: vårbyg. Resultater fra 1980-1982.

af kvælstofoptagelsen i byg fandt sted frem til 1. høst, hvorimod bælplanterne optog en betydelig del af deres uorganiske kvælstof efter 1. høst ville anvendelse af differensmetoden have været uanvendelig til vurdering af den symbiotiske N₂-binding ved 1. høst.

Forsøg med ¹⁵N-mærket gødning viser ofte, at N-gødskning forøger afgrødens optagelse af ikke-mærket kvælstof (jord-N). Denne effekt kaldes "priming", idet det antages, at den tilførte N-gødning øger ("primer") mineraliseringen af det organisk bundne jord-N. Fra fremspiring til skridning var optagelsen af jord-N i byg størst ved tilførsel af N-gødning, men i tidsrummet fra skridning til modenhed var jord-N optagelsen størst uden tilførsel af kvælstofgødning. Disse resultater antyder, at planteudvikling og optagelseshastigheden af kvælstof i disse tilfælde

kan forklare den såkaldte "priming"-effekt. Kvælstofgødskning har formentlig bidraget til en hurtigere optagelse af kvælstof og udtømmning af jorden via et større rodnet, således at mængden af ikke-mærket N har været lavere efter skridning ved kvælstofgødskning. I de ikke-kvælstofgødgede planter foregik kvælstofoptagelsen langsommere, formentlig på grund et mindre rodnet. Således var kvælstofkoncentrationen efter skridning muligvis større under de ikke-kvælstofgødgede planter, hvorved de kunne optage mere kvælstof end gødet byg i tidsrummet frem til modenhed.

Sammenfattende kan følgende konklusioner uddrages fra den foreliggende forsøgsserie:

- N-gødskning med 50 kg N pr. ha ved såning havde ikke signifikant indflydelse på vækst, tørstofudbytte og proteinproduktion af kogeært, foderært og hestebønne under de givne forsøgsbetingelser. Dette antyder, at det uorganiske N-indhold i jorden ved vækstperiodens start (31-59 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. ha i pløjelaget) har været tilstrækkeligt for etablering af afgrøderne, hvorefter den symbiotiske N_2 -binding har kunnet dække planternes N-behov.
- Ved anvendelse af ^{15}N -isotopfortyndingsteknik (tilførsel af 50 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ mærket med ^{15}N) og byg som referenceafgrøde blev den symbiotiske N_2 -binding i kogeært, foderært og hestebønne vurderet til at udgøre hhv. 60, 51 og 66% af total-N i de overjordiske plantedele, hvilket svarede til hhv. 165, 136 og 187 kg N pr. ha. Ved blomstring/tidlig bælgyldning havde afgrøderne bundet hhv. ca. 30, 59 og 31% af disse kvælstofmængder. Et skøn over N_2 -bindingen uden tilførsel af N-gødning antydede, at N-gødskning havde reduceret den symbiotiske N_2 -binding ca. 15-20%.
- Foder- og kogeært optog en større andel af de uorganiske N-ressourcer end hestebønne. Optagelsen af de uorganiske N-ressourcer i frøbælgplanterne var fordelt mere ligeligt over hele vækstsæsonen end i byg, der ved skridning havde optaget 80% af den mængde N, der var optaget i afgrøden ved modenhed.

- Denne forskel i mønsteret for optagelse af uorganisk N i byg og frøbælgplanterne kan til en vis grad have invalideret forudsætningerne for anvendelse af "A"-værdiprincippet.
- Ved at beregne forskellen i N-optagelse hos henholdsvis frøbælgplanter og byg (differensmetoden) opnåedes estimater for symbiotisk N₂-binding ved modenhedstidspunktet, som var i god overensstemmelse med resultaterne fra ¹⁵N-gødningsfortyndingsmetoden. Anvendelse af differensmetoden ville imidlertid have medført en betydelig undervurdering af den symbiotiske N₂-binding ved blomstring/tidlig bælgfyldning.
- Forbedring af teknikken til vurdering af den symbiotiske N₂-binding under markforhold kræver derfor valg af den rigtige bælgplante/referenceafgrødekombination via et indgående kendskab til rodudvikling og mønster for N-optagelse i referenceafgrøde og bælgplante.

3. EFFEKT AF MÆNGDE OG TIDSPUNKT FOR TILFØRSEL AF N-GØDNING PÅ UDBYTTE OG SYMBIOTISK N₂-BINDING HOS ÆRT I KARFORSØG

I ærter hæmmer høje niveauer af uorganisk N rodknolddannelsen (Oghoghorie og Pate, 1971) og kvælstofbindingsaktiviteten i etablerede rodknolde (Small og Leonard, 1969), medens lavere niveauer af uorganisk N kan stimulere vækst og kvælstofbinding (Oghoghorie og Pate, 1971). Såfremt uorganisk N ikke er til stede i tilstrækkelig mængde for at dække planternes N-behov, lider ært under N-mangel i perioden fra frøets N-reserver er opbrugt og til effektivt fungerende rodknolde er etableret (Mahon og Child, 1979). Overvindelse af denne N-begrænsede vækst, kan være årsagen til, at N-gødskning af og til stimulerer væksten af ært (Mahon og Child, 1979).

Bælgfyldningsperioden er relativ kort i ært, hvilket betyder at indlejringen af næringsstoffer i frøene foregår relativt hurtigt. Da kvælstofbindingsraten reduceres i bælgfyldningsperioden på grund af, at frøene virker som stærkere dræn for fotosynteseprodukter end rodknoldene (Lawrie og Wheeler, 1976), vil kvælstof remobiliseres fra de vegetative plantedele. Sinclair og de Wit (1976) hævder, at fotosyntesen derved reduceres, hvilket medfører en lavere N₂-binding, og at dette fænomen resulterer i "selvdestruktion" af planten (se afsnit 1). Tilførsel af uorganisk N i den reproduktive vækstfase kan måske forebygge denne "selvdestruktion" ved at forlænge perioden med høj fotosynteseaktivitet.

Formålet med disse forsøg var at belyse effekten af stigende mængder nitrat-N i dyrkningsmediet ved vækstperiodens start og effekten af sent og delt tilført nitrat-N til ært på udbytte af tørstof og protein, udnyttelsen af de uorganiske N-ressourcer og størrelsen af den symbiotiske N₂-binding.

3.1. Materialer og metoder

Karforsøg blev udført i vækstsæsonerne 1980-1982 med ært (*Pisum sativum* L., var. "Bodil"). Forsøget i 1981 måtte imidlertid kasseres på grund af plantesygdomme. I det følgende benævnes forsøgene i 1980 og 1982 hhv. Exp. I og Exp. II. En oversigt over vejrforholdene i de to vækstsæsoner er vist i fig. 2.1.

Forsøgsplaner for de to forsøg er vist i tabel 3.1. Begge forsøg var designede som randomiserede blokforsøg med fire gentagelser. I forsøgene anvendtes "Bodil" kogeært; og "Nery" vårbyg var referenceafgrøde ved vurdering af den symbiotiske N₂-binding. "Bodil" ært er beskrevet i afsnit 2.1.1.

Ært og byg dyrkedes i cylindriske kar med et rumfang på 20 liter og en jordoverflade på 500 cm². Karrene var forsynet med vandingsrør og blev jævnlgt vandet op til 75% af vandkapacitet ved anvendelse af vægt. Karrene var placeret på vogne i en udendørs voliere.

Forsøgsjorden var en blanding af lige dele (w/w) Risø lerjord og bakkegrus med pH ca. 8. Lerjord og bakkegrus blandedes grundigt efter afvejning, og prøver blev herefter udtaget til bestemmelse af uorganisk N (NO_3^- -N + NH_4^+ -N), som beskrevet af Haahr et al., 1985. Herefter iblandedes grundgødning til hele jordmængden svarende til følgende mængder pr. kar: 10 g KH_2PO_4 , 5 g KCl, 10 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g Cu $\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, og i Exp. II tilførtes desuden 0.1 g $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ samt 0.1 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Ca 17 kg jord fyldtes i karrene, hvorefter forsøgsgødningerne i hhv. 1980 og 1982 blev tilført som en opløsning af KNO_3 og $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ med 5,78 og 7,41 atom % ¹⁵N excess.

Den resterende jord fyldtes derefter i karret, ialt 22,5 kg jord/kar. 35 bygkerner eller 24 ærtefrø bejdsede med hhv. 2 g Baytan og 2 g Thiram pr. kg udsæd blev sået pr. kar. I Exp. II blev der podet med *Rhizobium leguminosarum* isolat Risø 1a i form af suspensionskultur svarende til ca. $2,3 \times 10^9$ bakterier pr. kar.

Tabel 3.1. N-gødskning i Exp. I og Exp. II.

Afgroede	Tidspunkt for tilførsel af N-gødning			
	Såning	4 uger efter	Begyndende	Tidlig
	fremspiring blomstring bælgyldning ^s			
	g NO ₃ -N/kar			
<u>Exp. I. 1980</u>				
"Bodil" ært	0	0	0	0
" "	1,5*	0	0	0
" "	3,0*	0	0	0
" "	4,5*	0	0	0
" "	0	3,0*	0	0
" "	0	0	3,0 *	0
" "	0	0	0	3,0 *
" "	0,75*	0,75	0,75	0,75
" "	0,75	0,75*	0,75	0,75
" "	0,75	0,75	0,75*	0,75
" "	0,75	0,75	0,75	0,75*
Vårbyg	3,0 *	0	0	0
<u>Exp. II. 1982</u>				
"Bodil" ært	0	-	0	0
" "	0,3*	-	0	0
" "	0,6*	-	0	0
" "	1,2*	-	0	0
" "	2,4*	-	0	0
" "	0	-	1,2*	0
" "	0	-	0	1,2*
" "	0	-	0	2,4*
" "	0,8*	-	0,8	0,8
" "	0,8	-	0,8*	0,8
" "	0,8	-	0,8	0,8*
Vårbyg	2,4*	-	0	0

* ¹⁵N-berigelse.

§ Flade bølge.

Tidspunkter for forsøgsanlæg, fremspiring, begyndende blomstring, tilførsel af forsøgsgødninger og høst er vist i tabel 3.2. Forsøgene blev høstet ved modenhed. Rødderne blev vasket fri for jord, og det overjordiske plantemateriale blev delt i stængel + blade, tomme bælge og frø. Antal bælge og frø pr. kar blev optalt. Repræsentative prøver blev udtaget til tørstofbestemmelse (20 timer ved 80°C) og Kjeldahl N-bestemmelse samt ^{15}N -analyse som anført i afsnit 2.1.2.

Tabel 3.2. Tidspunkt for anlæg af forsøg, fremspiring, begyndende blomstring, tilførsel af ^{15}N -mærket gødning og høst anført ved dato og som antal dage efter fremspiring (DEF). Exp. I og II.

	<u>Exp. I</u>		<u>Exp. II</u>	
	dato	DEF	dato	DEF
Forsøgsanlæg (^{15}N såning)	8/5		23/4	
Fremspiring	13/5	0	28/4	0
^{15}N 4 uger efter fremspiring	9/6	27	-	-
^{15}N begyndende blomstring	26/6	44	14/6	47
^{15}N tidlig bælgyldning	10/7	58	25/6	58
Høst	8/8	87	9/8	103

Variansanalyse blev udført på data ved anvendelse af Statistical Analysis System (Helwig og Council, 1979). $\text{LSD}_{0.95}$ blev anvendt ved sammenligning af middelværdier hvis F-test viste signifikante behandlingseffekter.

3.2. Forsøgsresultater.

3.2.1. Effekt af N-gødskning ved såning

I Exp. I havde tilførsel af store mængder nitratkvælstof (3,0-4,5 mg N/kar) en negativ indflydelse på tørstofudbyttet af ært (tabel 3.3). Tilførsel af 1,5 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar havde en tendens til at stimulere tørstofudbyttet. Da de store kvælstofmængder reducerede frøudbyttet relativt mere end udbyttet af de øvrige plantedele, blev høstindekset reduceret signifikant ved N-gødskning. Færre bælge var en væsentlig årsag til det reducerede udbytte (tabel 3.3).

Udbyttelniveauet uden tilførsel af N-gødning var ca. 10% højere i Exp. II end i Exp. I, hvilket muligvis kan tillægges mere favorable vækstbetingelser i 1982 (fig. 2.1). Forholdsvis lave niveauer af nitratkvælstof (op til 1,2 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar) stimulerede tørstofproduktionen i alle plantedele, og for rødder og stængel + blade var denne effekt signifikant (tabel 3.3). Tilførsel af 2,4 g N/kar havde ikke signifikant indflydelse på tørstofudbyttet sammenlignet med den ugødede kontrol. Tilførsel af 0,3-1,2 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar øgede i gennemsnit tørstofudbyttet af rod, stængel + blade, tomme bælge og frø med hhv. 50, 33, 18 og 11%. Da udbyttet af stængel + blade og tomme bælge blev forøget mere end udbyttet af frø ved N-gødskning, blev høstindekset reduceret signifikant ved N-gødskning. Det højere udbytte som følge af moderate mængder nitratkvælstof skyldtes hovedsageligt flere frø pr. bæg.

Tilførsel af moderate kvælstofmængder havde en tendens til at reducere N-koncentrationen i alle plantedele (tabel 3.4). Tilførsel af 3,0-4,5 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar forøgede N-koncentrationen i frø signifikant i Exp. I.

Tilførsel af 3,0 og 4,5 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar reducerede signifikant kvælstofudbyttet af frø, men havde ingen indflydelse på N-udbyttet af de øvrige plantedele. Tilførsel af 0,3 og 0,6 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar i Exp. II øgede kvælstofudbyttet i frø ca. 11%, men effekten var ikke signifikant (tabel 3.4). Tilsvarende mængder kvælstof-

Tabel 3.3. Effekt af stigende NO₃-N-tilførsel ved såning på tørstofudbytte, g/kar, høstindeks og udbyttestruktur i "Bodil" ært. Exp. I og II.

N-tilførsel mg NO ₃ -N/kar	Tørstofudbytte				Udbyttekomponenter			Høst indeks
	Rod	Stængel	Tomme	Frø	Bælge/ kar	Frø/ bælg*	1000- kornsvægt	
		+ blade	bælge					
		g/kar			Antal		g	%
Exp. I								
0	3,5	28,1	11,4	60,7	67,5	3,6	247	61
1500	3,7	31,5	13,2	62,8	67,3	3,6	262	58
3000	3,2	26,1	9,6	43,5	52,0	3,3	250	55
4500	3,1	25,5	8,4	39,5	46,0	3,2	270	54
LSD(0,95)	NS	4,1	2,4	11,2	9,7	NS	NS	3
Exp. II								
0	4,5	27,5	13,7	66,5	66,3	3,9	257	62
300	5,4	34,8	15,5	75,1	71,0	4,2	256	60
600	6,5	38,2	16,1	74,7	64,8	4,3	268	58
1200	8,4	37,5	17,1	72,2	68,5	4,0	263	57
2400	6,0	29,8	15,0	64,2	68,3	3,6	265	59
LSD(0,95)	1,5	4,1	NS	NS	NS	0,3	NS	2

NS: Ikke signifikant effekt af N-gødskning.

* Beregnet ud fra frøudbytte, 1000-kornsvægt og antal bælge pr. kar.

Tabel 3.4. Effekt af stigende NO₃-N-tilførsel ved såning på N-koncentration i tørstof, kvælstofudbytte og høstindeks for kvælstof i "Bodil" ært. Exp. I og II.

N-tilførsel mg NO ₃ -N/kar	N-koncentration				Kvælstofudbytte					Høst indeks
	Rod	Stængel	Tomme	Frø	Rod	Stængel	Tomme	Frø	Overjordisk total	
		+ blade	bælge			+ blade	bælge			
% N					mg N/kar					%
Exp. I										
0	2,53	1,80	0,84	3,80	88	505	97	2299	2901	79
1500	2,42	2,43	0,60	3,46	88	450	80	2173	2704	80
3000	2,34	1,66	0,81	4,02	74	432	75	1748	2256	77
4500	2,59	2,00	0,83	4,23	81	513	70	1673	2256	74
LSD(0,95)	NS	0,26	NS	0,19	NS	NS	NS	458	507	4
Exp. II										
0	2,62	1,34	0,53	3,60	118	368	74	2398	2839	84
300	2,55	1,31	0,48	3,51	139	454	75	2642	3171	83
600	2,49	1,38	0,46	3,58	162	527	74	2678	3278	82
1200	2,52	1,26	0,50	3,54	211	471	85	2555	3111	82
2400	2,30	1,14	0,46	3,33	135	338	68	2127	2533	84
LSD(0,95)	NS	NS	NS	0,24	34	70	NS	314	357	NS

NS: Ikke signifikant effekt af N-gødsning.

gødning øgede derimod kvælstofudbyttet af stængel + blade signifikant, ca. 33%. I Exp. II var ærterne i stand til langt mere effektivt at mobilisere kvælstofressourcerne fra de vegetative plantedele for proteinproduktion i frø, idet høstindekset for kvælstof var betydeligt højere Exp. II end i Exp. I (tabel 3.4). I planter uden kvælstofgødskning fandtes der således 36% mere kvælstof i stængel + blade + tomme bælge i Exp. I end i forhold til ikke-kvælstofgødede planter fra Exp. II.

Byg blev dyrket som referenceafgrøde med henblik på at vurdere effekten af kvælstofgødning på den symbiotiske N_2 -binding ved anvendelse af ^{15}N -teknik. I tabel 3.5 er udbyttebestemmelse, N-koncentrationer og ^{15}N -berigelse anført for forskellige bygplantedele samt estimater af bidragene fra de forskellige N-kilder til N-forsyningen af byg. Tørstofproduktionen var størst, men den totale N-optagelse mindst i Exp. II (tabel 3.5), hvilket i lighed med "Bodil" art resulterede i lavere N-koncentrationer i de forskellige plantedele i Exp. II sammenlignet med Exp. I. I Exp. II blev der imidlertid tilført 0,6 g NO_3^- -N/kar mindre end i Exp. I. I Exp. I og II blev hhv. ca. 79 og 74% af den tilførte ^{15}N -gødning genfundet i afgrøderne. I tilsvarende markforsøg i de to år genfandtes hhv. 83 og 68% af 50 kg ^{15}N -mærket kvælstofgødning i de overjordiske plantedele af "Nery" vårbyg (tabel 2.13), hvilket således er i god overensstemmelse med karforsøgene. Da ^{15}N -berigelsen i kerne og stak tilsyneladende var større end i halm og rod i begge forsøg, var det mest hensigtsmæssigt at anvende "A"-værdiprincippet ved vurdering af symbiotisk N_2 -binding i ært (jfr. afsnit 2.1.2).

I tabel 3.6 og 3.7 er vist de relative bidrag fra ^{15}N -gødning, jord-N og symbiotisk N_2 -binding til N-forsyningen af ært ved stigende N-tilførsel. Figur 3.1 viser de absolutte størrelser af bidragene. I tabellerne 3.6 og 3.7 er bidraget fra udsæds-N, der bidrog med 3-5% af total-N ikke medtaget. Estimatet for N_2 -bindingens bidrag til N_2 -forsyningen af rødder (tabel 3.7) var ofte negativt, hvilket formentlig var forårsaget af korrektionen for udsæds-N. Ved opdeling af udsæds-N på plantedele blev der regnet med 50, 25, 5 og 20% til hhv. rødder, stængel + blade, tomme bælge og frø (jfr. afsnit 2.1.2). Såfremt ikke hele

Tabel 3.5. Tørstofproduktion og N-optagelse i byg tilført 3,0 eller 2,4 g NO₃-N/kar ved såning i hhv. Exp. I og Exp. II.

Parameter	Exp. I					Exp. II				
	Plantedel					Plantedel				
	Rod	Halm	Stak	Kerne	Total	Rod	Halm	Stak	Kerne	Total
Tørstofudbytte, g/kar	7,7	74,9	20,5	88,3	191,4	14,7	106,0	22,3	120,1	263,1
Kvælstofindhold, %	1,79	0,97	1,16	1,99	-	1,16	0,41	0,41	1,27	-
Kvælstofudbytte, mg N/kar	138	723	250	1763	2874	170	434	92	1518	2214
Atom % ¹⁵ N excess	1,03	1,16	1,23	1,21	-	1,20	1,36	1,41	1,57	-
N fra gødning, mg N/kar	99	579	212	1477	2367	110	318	69	1285	1782
N fra udsæd, mg N/kar	8	2	2	6	18	11	2	2	8	22
N fra jord, mg N/kar	31	143	37	280	491	49	114	21	225	409
% ¹⁵ N-gødning genfundet	3,3	19,3	7,1	49,2	78,9	4,6	13,2	2,9	53,5	74,3
"A"-værdi mg, N/kar	-	-	-	-	620	-	-	-	-	553
% N hidrørende fra gødn.	74	80	85	84	82	65	74	75	85	81
% hidrørende fra jord	22	20	15	16	17	29	26	23	27	18
<hr/>										
(NO ₃ ⁻ +NH ₄ ⁺)-N i jorden ved anlæg af forsøgene.	2,15 mg N/100 g jord=483 mg N/kar					2,10 mg N/100 g jord=472 mg N/kar				

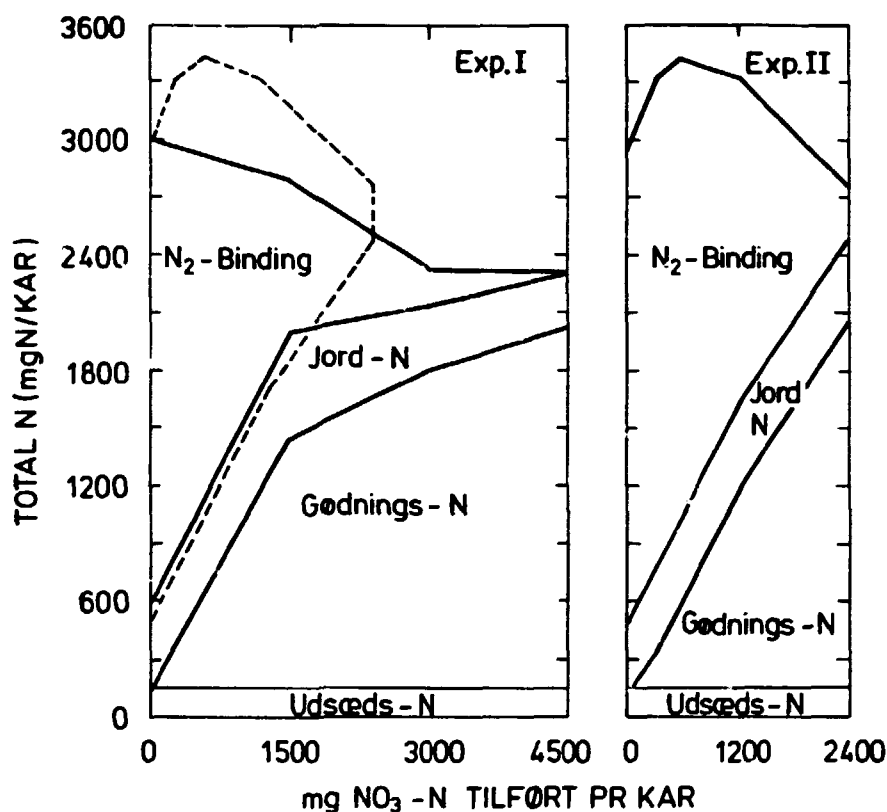


Fig. 3.1. Bidrag fra udsæd, ^{15}N -gødning, jord og symbiotisk kvælstofbinding til N-forsyning af ært (cv. "Bodil") ved stigende tilførsel af N-gødning ved såning. N_2 -binding i Exp. II er vist ved stiplede linie i diagram for Exp. I.

rod materialet er høstet, hvilket selv i karforsøg kan være vanskeligt, kan negative estimater af bidraget fra N_2 -bindingen forekomme. Andre forsøgsresultater (Oghoghorie og Pate, 1971) antyder imidlertid, at symbiotisk N_2 -binding kun bidrager med en ringe andel til total-N i ærterødder ved tilstedeværelsen af uorganisk N.

Vurdering af N_2 -binding uden tilførsel af ^{15}N -gødning blev foretaget på følgende måde. Optagelsen af jord-N i ært ved tilførsel af N-gødning syntes at være positivt korreleret til mængden af rodtørstof (jfr. tabel 3.5 og fig. 3.1). Udfra disse betragtninger blev følgende regressionsligninger estimeret:

Tabel 3.6. Relative bidrag fra ^{15}N -gødning, jord-N og symbiotisk N_2 -binding til N-forsyning af ært ved stigende $\text{NO}_3\text{-N}$ -tilførsel ved såning og % af N-gødningen genfundet i afgrøderne. Exp. I og II.

N-tilførsel mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar	Total-N	% af total-N hidrørende fra			% ^{15}N - gødning genfundet
		^{15}N -gødning	Jord-N	N_2 -binding	
	mg N/kar	%	%	%	%
Exp. I					
0	2989	0	15*	80*	-
1500	2792	47	20	28	87
3000	2330	70	14	9	56
4500	2337	86	12	0	42
Exp. II					
0	2957	0	13*	82*	-
300	3309	7	12	77	73
600	3441	14	13	69	79
1200	3322	31	14	51	85
2400	2668	71	16	8	80

* Beregninger, se tekst.

$$\text{Exp. I: } Y = -1157,2 + 463,4 \times X, r^2 = 0.99$$

$$\text{Exp. II: } Y = 299,6 + 20,4 \times X, r^2 = 0.83$$

hvor Y = mg jord-N optaget pr. kar,

og X = g rodtørstof pr. kar.

Ved at indsætte rodtørstof for de to led uden tilførsel af N-gødning blev jord-N optagelsen estimeret til 465 og 392 mg N/kar i hhv. Exp. I og II. Til sammenligning med disse estimater ses, at byg i de to forsøg optog hhv. 489 og 409 mg jord-N/kar. Ved at subtrahere estimatet for jord-N og udsæds-N fra total-N i ærter uden kvælstofgødskning fremkom estimater for symbiotisk N_2 -

Tabel 3.7. Relative bidrag fra ^{15}N -gødning, jord-N og symbiotisk N_2 -binding til total-N i forskellige plantedele af ært ved stigende $\text{NO}_3\text{-N}$ -tilførsel ved såning. Exp. I og II.

N-tilførsel mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar	Plantedel	Total-N	% N hidrørende fra		
			^{15}N -gødning	Jord-N	N_2 -binding
		mg N/kar	%	%	%
Exp. I					
1500	Frø	2300	46	19	34
	Bælge ¹⁾	97	53	22	16
	Stængel ²⁾	505	54	22	16
	Rod	88	42	18	-
3000	Frø	2173	72	15	12
	Bælge	80	70	15	5
	Stængel	450	67	14	11
	Rod	88	51	11	-
4500	Frø	1749	82	11	0
	Bælge	77	73	10	0
	Stængel	432	66	9	0
	Rod	74	57	8	0
Exp. II					
300	Frø	2643	6	10	83
	Bælge	75	7	13	70
	Stængel	454	10	19	64
	Rod	139	16	30	3
600	Frø	2678	12	11	76
	Bælge	74	17	15	58
	Stængel	526	20	18	55
	Rod	162	25	23	9
1200	Frø	2555	29	13	57
	Bælge	85	38	17	36
	Stængel	471	38	18	37
	Rod	211	37	17	11
2400	Frø	2127	74	17	8
	Bælge	68	69	16	4
	Stængel	338	59	14	17
	Rod	136	52	12	-

1) Tomme bælge. 2) Incl. blade.

binding på 2390 og 2560 mg N/kar i hhv. Exp. I og Exp. II (fig. 3.1), hvilket svarede til hhv. ca. 80 og 82% af total-N i afgrøderne (tabel 3.6).

Det fremgår af fig. 3.1 og tabel 3.6, at tilførsel af større mængder nitrat-N reducerede den symbiotiske N_2 -binding signifikant. I Exp. I reducerede 1,5, 3,0 og 4,5 g NO_3 -N/kar bidraget fra den symbiotiske N_2 -binding hhv. 67, 92 og 100%, og i Exp. II reducerede 0,6, 1,2 og 2,4 g NO_3 -N/kar den symbiotiske N_2 -binding hhv. 2, 30 og 92%. Tilførsel af 0,3 g NO_3 -N/kar reducerede tilsyneladende ikke den symbiotiske N_2 -binding (fig. 3.1). Det bemærkes, at en stigende del af den tilførte N-gødning (op til 1,2 g NO_3 -N/kar) blev genfundet ved stigende N-gødsning (tabel 3.6). Det ses, at der er god overensstemmelse med hensyn til genfindelse af gødnings-N ved 1,5 g NO_3 -N/kar i Exp. I og 1,2 g NO_3 -N/kar i Exp. II. I Exp. I optog ært en mindre andel af 3,0 g NO_3 -N/kar end byg, men i Exp. II optog ært en større andel af 2,4 g NO_3 -N/kar end byg (jfr. tabel 3.5).

I Exp. I var N-gødning den dominerende N-ressource ved N-forsyningen af de forskellige plantedele (tabel 3.7) på grund af de høje nitratgødningsmængder. I Exp. II var N_2 -binding den dominerende N-ressource op til 1,2 g NO_3 -N/kar. Det ses endvidere af tabellen, at N_2 -binding bidrog relativt mere til N-forsyning af frøene end til N-forsyningen af bælge og stængel + blade.

3.2.2. Effekt af delt og sen N-gødsning.

I Exp. I havde tilførsel af 3,0 g NO_3 -N/kar til jorden ca. 4 uger efter fremspiring, ved begyndende blomstring eller ved tidlig bælgyldning (flade bælge) ikke signifikant effekt på udbyttet af tørstof (tabel 3.8). N-gødsning ved begyndende blomstring og tidlig bælgyldning øgede dog frøudbyttet ca. 9% via en forøgelse af frøvægten.

I Exp. II øgede tilførsel af 1,2 g NO_3 -N/kar ved begyndende blomstring og ved tidlig bælgyldning udbyttet af rod-, bælg- og frøtørstof. Effekten af sengødsning med hensyn til frøudbyttet var dog kun signifikant ved tilførsel omkring tidlig bælg-

Tabel 3.8. Tørstofproduktion, udbyttekomponenter og høstindeks af ært tilført NO_3^- -N på forskellige tidspunkter af udviklingen. Exp. I og II.

	mg NO ₃ -N tilført/Kar ved				Tørstofproduktion				Udbyttekomponenter			Høst
	Såning	4 uger efter	Beg.	Tidlig	Rod	Stængel	Tomme	Frø	Bælge/	Frø/	1000-	indeks
	fremspiring	blomstring	bløgfyl.	bløgfyl.	+ blade	+ blade	bælge		kar	bælg*	k.vægt	
					g/kar				Antal		g	%
<u>Exp. I</u>												
	0	0	0	0	3,5	28,1	11,4	60,7	67,4	3,6	247	61
	0	3000	0	0	3,4	29,7	11,7	63,8	61,8	3,8	274	61
	0	0	3000	0	3,7	31,2	11,9	66,3	69,3	3,5	272	61
	0	0	0	3000	3,7	31,8	12,1	66,3	69,5	3,6	266	60
	750	750	750	750	4,5	34,5	14,4	74,4	72,5	3,8	272	60
LSD(0,95)					0,7	NS	2,2	NS	NS	0,3	19	NS
<u>Exp. II</u>												
	0	-	0	0	4,5	27,5	13,7	66,5	66,3	3,9	257	62
	0	-	1200	0	5,4	37,2	17,7	81,1	81,1	3,8	263	60
	0	-	0	1200	6,8	42,1	19,1	87,1	92,0	3,4	277	59
	0	-	0	2400	7,7	38,8	18,8	87,6	76,3	4,4	272	60
	800	-	800	800	7,6	41,1	20,0	87,3	79,2	4,3	263	59
LSD(0,95)					1,6	NS	3,4	15,0	13,6	NS	NS	NS

NS: Ikke signifikant effekt af N-gødsning

* Beregnet ud fra frøudbytte, 1000-kornsvægt og bælg/kar.

fyldning. Der var ikke signifikant forskel på effekten af 1,2 og 2,4 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar tilført ved tidlig bælgyldning (tabel 3.8). Det øgede frøudbytte var hovedsageligt forårsaget af flere bælge pr. kar, men frøvægten blev dog også forøget ved øget N-gødskning.

Delt tilførsel (4 x 0,75 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar) af N-gødning i Exp. I forøgede tørstofudbyttet af alle plantedele (tabel 3.8), men effekten var kun signifikant for rod- og bælgstørstof. Flere bælge pr. kar og frø pr. bælg samt en større frøvægt resulterede i et frøudbytte, der var ca. 23% større end udbyttet af den ugødede kontrol. I Exp. II forøgede delt tilførsel (3 x 0,8 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar) ligeledes udbyttet af tørstof i alle plantedele (tabel 3.8), men effekten af delt tilførsel var ikke signifikant forskellig fra tilførsel af 2,4 (og 1,2) g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar ved tidlig bælgyldning. Flere bælge/kar var den væsentligste årsag til, at frøudbyttet ved delt tilførsel af 2,40 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar, var ca. 31% større end udbyttet af den ugødede kontrol.

Delt tilførsel af kvælstofgødning resulterede generelt i en lavere N-koncentration i alle plantedele sammenlignet med den ugødede kontrol (tabel 3.9). Kun tilførsel af 2,4 eller 3,0 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar ved tidlig bælgyldning øgede N-koncentrationen væsentligt i frøene sammenlignet med den ugødede kontrol.

Hverken delt eller sen tilførsel af kvælstofgødning havde signifikant indflydelse på kvælstofudbyttet af stængel + blade og tomme bælge (tabel 3.9). Delt tilførsel af kvælstofgødning og tilførsel af kvælstof ved begyndende blomstring eller tidlig bælgyldning øgede mængden af kvælstof i rødder og frø. I Exp. II øgede tilførsel af 1,2 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar ved tidlig bælgyldning kvælstofudbyttet af frø ca. 24% (tabel 3.9).

I tabel 3.10 og 3.11 er vist hvor stor en del af den delte og sent tilførte N-gødning, der blev optaget, samt estimater af jord-N og den symbiotiske N_2 -bindings bidrag til N-forsyningen af ærter. Ved sengødsning er bidraget fra jord-N sat lig bidraget fra jord-N i afgrøderne uden N-gødsning, hhv. 465 og 392 mg N/kar i Exp. I og Exp. II. Ved sengødsning havde afgrøderne et

Tabel 3.9. Kvælstofkoncentration i tørstof, kvælstofudbytte og høstindeks for kvælstof i ært tilført NO_3^- på forskellige tidspunkter af udviklingen. Exp. I og II.

	mg NO_3^- -N tilført/kar ved				% N i tørstof af				Kvælstofudbytte af					H
	Såning	4 uger efter	Beg.	Tidlig	Rod	Stængel	Tomme	Frø	Rod	Stængel	Tomme	Frø	Overjordisk	
	fremspiring	blomstring	bælgfyldn.		+ blade	+ blade	+ blade	+ blade	+ blade	+ blade	+ blade	+ blade	total	
					% N				mg N/kar					%
<u>Exp. I</u>	0	0	0	0	2,53	1,80	0,84	3,80	88	505	97	2299	2901	79
	0	3000	0	0	2,40	1,49	0,64	3,72	81	439	75	2372	2887	82
	0	0	3000	0	2,57	1,50	0,88	3,85	96	467	105	2552	3123	82
	0	0	0	3000	2,69	1,68	0,87	3,95	99	534	104	2618	3256	80
	750	750	750	750	2,38	1,40	0,71	3,70	106	482	100	2678	3327	82
LSD(0,95)					NS	0,13	0,18	0,18	13	NS	NS	NS	NS	
<u>Exp. II</u>	0	-	0	0	2,62	1,34	0,53	3,60	118	368	74	2398	2839	84
	0	-	1200	0	2,49	1,15	0,52	3,22	134	424	91	2608	3123	84
	0	-	0	1200	2,53	1,19	0,55	3,42	173	505	106	2972	3583	83
	0	-	0	2400	2,14	1,23	0,59	3,69	165	477	110	3227	3813	85
	800	-	800	800	2,16	1,06	0,50	3,39	162	432	99	2945	3476	85
LSD(0,95)					0,21	0,10	NS	0,18	30	NS	NS	472	581	

NS: Ikke signifikant effekt af N-gødning.

mindre tidsrum til at optage N-gødning, end de havde til at optage jord-N. Dette kan føre til en lavere genfindelse af gødnings-N (jfr. tabel 3.10). Det ville derfor være fejlagtigt at formode, at jord-kvælstoffet var optaget med samme effektivitet som gødnings-kvælstoffet. Da afgrøden i en stor del af vækstperioden har været foruden kvælstofgødning, vil det være nærliggende at antage, at jord-N optagelsen ved sengødskning har været omtrent som optagelsen af jord-N uden tilførsel af kvælstofgødning. Sengødskning kan imidlertid have medvirket til en bedre optagelse af jord-N ressourcerne, idet sengødskning forøgede udbyttet af rødder, og optagelsen af sent tilført N-gødning i Exp. II var større end optagelsen af N-gødningen tilført ved såning (jfr. tabel 3.6 og 3.10).

Tilførsel af 3,0 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar 4 uger efter fremspiring eller ved begyndende blomstring resulterede i største N-gødningsoptagelse ved den sidstnævnte tilførsel (tabel 3.10). I Exp. II blev 1,2 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar ligeledes udnyttet bedre ved sen tilførsel (begyndende blomstring/tidlig bælgfyldning) end ved såning (tabel 3.6). Sengødskning med 3,0 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar 4 uger efter fremspiring og ved begyndende blomstring havde imidlertid en betydelig negativ indflydelse på den symbiotiske N_2 -binding (tabel 3.10), mest udtalt ved gødsugning efter 4 uger. I Exp. II syntes gødningsoptagelsen i lighed med Exp. I at være mest effektiv ved tilførsel omkring tidlig bælgfyldning (ca. 8 uger efter fremspiring), idet 89 og 87% af hhv. 1,2 og 2,4 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar blev optaget efter tilførsel på dette tidspunkt. Ved tilførsel af N-gødningen på dette sene tidspunkt har afgrøden haft mulighed for at dække en betragtelig del af sit N-behov via den symbiotiske N_2 -binding, nemlig 44 og 57% af total-N i hhv. Exp. I og Exp. II ved tilførsel af hhv. 3,0 og 1,2 g $\text{NO}_3\text{-N}$ /kar.

I Exp. I opnåedes den bedste udnyttelse af 3,0 g N/kar imidlertid ved delt tilførsel i 4 portioner (tabel 3.11). Denne kontinuerede tilførsel af N-gødning reducerede den symbiotiske N_2 -binding betydeligt. Beregning af N_2 -binding ved delt N-tilførsel er udført som beskrevet af Fried og Broeshart (1981). I Exp. II udnyttedes 2,4 g N/kar med samme effektivitet, hvad enten det var tilført i én portion ved tidlig bælgfyldning eller

Tabel 3.10. Bidrag, mg N/kar og % af total-N, fra ^{15}N -gødning, jord-N og symbiotisk N_2 -binding til kvælstof-forsyning af ært ved tilførsel af $^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ -gødning på forskellige tidspunkter af udviklingen. Exp. I og II.

	mg NO_3^- tilført pr. kar ved				Total-N incl. rødder	Kvælstof hidrørende fra						% af N-gødning genfun
	Såning	4 uger efter fremspiring	Beg. blomstring	Tidlig bælgfyldn.		^{15}N - gødning	Ndff [§]	Jord-N ⁺)	Ndfs [§]	N ₂ -bin- ding	Ndfa [§]	
					mg N/kar	mg N/kar	%	mg N/kar	%	mg N/kar	%	%
Exp. I	0	0	0	0	2989	-	-	458	15	2391	80	-
	0	3000	0	0	2968	2229	75	458	15	141	5	74
	0	0	3000	0	3219	2000	62	458	14	621	19	67
	0	0	0	3000	3355	1277	38	458	14	1480	44	43
	750	750	750	750	3433	2320	72	412	12	412	12	77*
Exp. II	0	-	0	0	2957	-	-	388	13	2429	82	-
	0	-	1200	0	3258	957	30	388	12	1773	54	80
	0	-	0	1200	3756	1069	30	388	10	2159	57	89
	0	-	0	2400	3978	2089	53	388	10	1361	34	87
	800	-	800	800	3637	2065	57	436	12	981	27	86*

* Samlet genfindelse af 4 (3) tilførsler. Genfindelse af de enkelte tilførsler er vist i tabel 3.11.

+ Ved senggødskning er bidraget fra jord-N sat lig bidraget fra jord-N uden tilførsel af N-gødning, se tekst.

§ Ndff, Ndfs og Ndfa: % af total-N hidrørende fra hhv. N-gødning, jord-N og N_2 -binding.

Tabel 3.11. Optagelse af delt eller sent tilført NO₃N-gødning i ært samt lokaliseringen af dette i forskellige plantedele. Exp. I og II.

mg N/kar tilført ved				¹⁵ N-gødning		% af genfundet gødning			
Såning	4 uger efter	Beg.	Tidlig	genfundet		lokaliseret i			
fremspiring blomstring bælgyldn.						Rod	Stangel ¹	Bælge ²	Frø
Exp. I				mg N/kar	% af tilført				
3000*	0	0	0	1665	56	2	18	3	77
0	3000*	0	0	2229	74	1	11	3	85
0	0	3000*	0	2000	67	1	10	3	86
0	0	0	3000*	1277	43	1	9	2	88
750*	750	750	750	644	86	3	18	2	77
750	750*	750	750	503	67	2	18	3	77
750	750	750*	750	628	84	1	9	4	86
750	750	750	750*	553	74	1	6	3	90
Exp. II									
1200*	-	0	0	1018	85	8	17	3	72
0	-	1200*	0	957	80	3	9	3	85
0	-	0	1200*	1069	89	2	6	2	90
2400*	-	0	0	1890	80	4	11	3	83
0	-	0	2400*	2089	87	2	6	2	90
800*	-	800	800	655	82	8	17	2	73
800	-	800*	800	684	86	2	7	3	88
800	-	800	800*	726	91	2	5	2	91

* ¹⁵N-mærkning

1. Inkl. blade

2. Tomme bælge

delt i tre portioner. I overensstemmelse med Exp. I havde delt tilførsel en betydeligt negativ indflydelse på den symbiotiske N_2 -binding, men effekten var dog ikke så ugunstig som tilførsel af hele mængden ved såning (fig. 3.1).

I tabel 3.11 er vist, hvorledes N-gødning tilført på forskellige tidspunkter udnyttedes, og hvor i planten den optagne N-gødning lokaliseres. Det ses, at hovedparten af det optagne gødningskvælstof var lokaliseret i frøene, og at jo senere gødningskvælstoffet blev tilført, jo større andel af dette genfandtes i frøene. Der var god overensstemmelse mellem resultaterne for delt og sen tilførsel med hensyn til lokalisering af gødningskvælstoffet i de enkelte plantedele.

3.3. Diskussion og konklusioner

De to forsøg supplerede hinanden udmærket med hensyn til at belyse effekten af det uorganiske N-niveau i jorden ved såning på udbytte og symbiotisk N_2 -binding (jfr. fig. 3.1). Det var tydeligt, at de undersøgte N-niveauer i Exp. I var for høje, idet de ikke blot eliminerede den symbiotiske N_2 -binding, men også havde en ugunstig indflydelse på plantevæksten. Den samme tendens kunne anes ved tilførsel af 2,4 g NO_3 -N i Exp. II. Årsagen til denne ugunstige effekt af store mængder $Ca(NO_3)_2$ kendes ikke, men kan måske skyldes saltskade.

Tilførsel af 0,6 g NO_3 -N/kar ved såning resulterede i det største tørstof- og kvælstofudbytte (tabel 3.4 og fig. 3.1). Kvælstofgødskning øgede udbyttet af stængel + blade og tomme bælg mere end udbyttet af frø, hvorved høstindeksene reduceredes ved stigende N-gødskning. Geering (1957) fandt ligeledes, at N-gødskning øgede halmudbyttet mere end frøudbyttet. Tilførsel af 0,6 g NO_3 -N/kar reducerede den symbiotiske N_2 -binding i mindre grad. Dette fremgår af fig. 3.2, der viser sammenhængen mellem størrelsen af bidraget fra de uorganiske N-ressourcer, jord + gødning, og bidraget fra N_2 -binding. Ved en stor optagelse af uor-

ganisk N er de uorganiske N-ressourcer ikke fuldt i stand til at kompensere for den reducerede kvælstofbinding, idet kurverne skærer diagonalen i diagrammet (fig. 3.2).

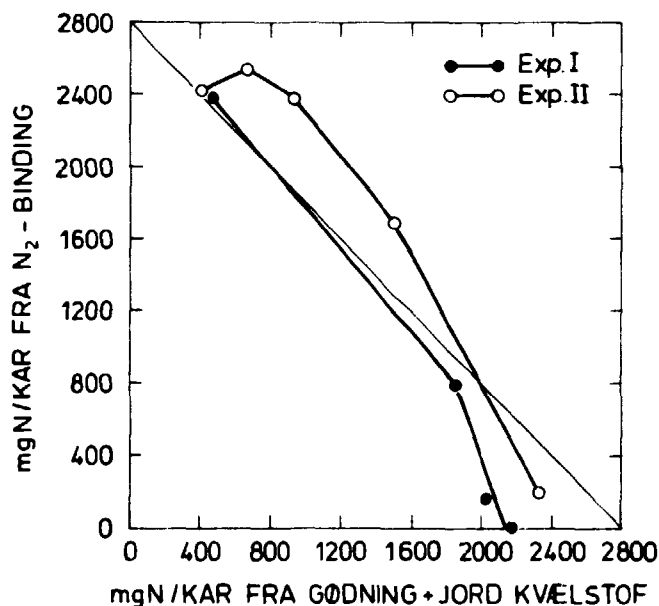


Fig. 3.2. Sammenhæng mellem den absolutte størrelse af bidragene fra uorganisk N (jord- + gødnings-N) og symbiotisk N₂-binding til N-forsyning af ært.

I relation til effekten af 0,3 og 0,6 g NO₃-N på den symbiotiske N₂-binding i disse karforsøg må det imidlertid pointeres, at kvælstofgødningen var placeret ca. 12 cm under jordoverfladen, hvilket formentlig har reduceret den negative effekt af NO₃-N på rodknolddannelsen, idet hovedparten af rodknoldene findes på det øverste stykke af primærroden og de laterale rødder udgående herfra. Harper og Cooper (1971) fandt i pottforsøg med sojabønne, at tilførsel af ammoniumnitrat reducerede rodknolddannelsen mest, når N-gødning fordeltes i hele jordvoluminet sammenlignet med placering i bunden af potten. Tilførsel af mere end 0,6 g NO₃-N reducerede imidlertid den symbiotiske N₂-binding betydeligt på trods af, at det var placeret nede i karret. Dette antyder, at nitratkvælstof kan have en negativ indflydelse på kvælstofbindingen, selvom nitrat ikke er i ekstern kontakt med den del af rodsystemet, hvor hovedparten af rodknolden findes.

Ved tilførsel af kvælstof forøgedes mængden af rodtørstof og samtidig den procentiske genfindelse af den tilførte kvælstofgødning (tabel 3.6). Såfremt den tilgængelige mængde af gødnings-N er blevet reduceret ved immobilisering, kan dette forhold tænkes at have haft størst betydning ved de lave N-niveauer.

I Exp. II blev karrene bedømt for graden af modenhed 18 dage før høst. Det viste sig, at der var en tendens til, at stigende N-tilførsel ved såning medførte tidligere modning, og at N tilført ved tidlig bælgyldning resulterede i senere modning i forhold til planter tilført $\text{NO}_3\text{-N}$ ved såning. Ideen med sengødskning var da også at forlænge varigheden af bladmassens fotosynteseaktive periode.

Pate og Flinn (1973) fandt, at ca. 20% af total-N i frøene af foderært (*Pisum sativum* L. *arvense*) var kvælstof, der var assimileret før blomstring, og således mobiliseret fra de vegetative plantedele til frøene. Dette kan måske som påpeget af Sinclair og de Wit (1976), resultere i tidlig visning af blade, hvorved fotosynteseraten falder og planten modner for tidligt.

I vore forsøg resulterede sengødskning i et merudbytte i forhold til de ugødede afgrøder. Mil (1981) opnåede ligeledes et merudbytte ved tilførsel af ammoniumnitrat til ærter omkring bælgyldning. Schilling et al. (1967) opnåede ikke et højere frøtørstofudbytte, men et ca. 21% højere kvælstofindhold i frøene ved N-gødskning af ært efter blomstring. I vore forsøg øgede sengødskning kvælstofudbyttet i frø betydeligt (tabel 3.9), men det procentiske kvælstofindhold blev ikke påvirket på en entydig måde. Garcia og Hanway (1976) fandt, at sengødskning med N, P, K og S (bladgødskning) øgede udbyttet af sojabønne med ca. 40%. Witty et al. (1980) konstaterede, at sådanne behandlinger medførte udbyttereduktion i hestebønne. Såvidt vides er der ikke udført forsøg med sengødskning af ært under markforhold.

Sengødskning reducerede den symbiotiske N_2 -binding betydeligt. Tilførsel af kvælstofgødning 4 uger efter fremspiring og ved begyndende blomstring havde især en ugunstig indflydelse på N_2 -

bindingen, uden at det resulterede i betydeligt større kvælstofudbytter (tabel 3.10). Ved tilførsel omkring tidlig bælgyldning hidrørte i gennemsnit af to forsøg 45% af total-N ved modenhed fra N_2 -binding, og kvælstofudbyttet var i gennemsnit forøget 24% i forhold til de ugødede afgrøder. Da kvælstofbindingsraten er størst omkring blomstring (se f.eks. Mil, 1981), er det vigtigt at udskyde N-gødskningen så lang tid som muligt efter dette tidspunkt, men N-gødningen må tilføres inden frøanlæggene for alvor begynder at mobilisere kvælstof fra de vegetative plantedele.

Ærterne optog en større andel af sent tilført gødningskvælstof end af den samme mængde kvælstof tilført ved såning (jfr. tabel 3.11). Dette kan skyldes at N-gødningen ved de sene tilførsler blev placeret oven i karret, hvorimod den ved såning var placeret 12 cm under jordoverfladen. Denitrifikation ved tilførsel 12 cm nede i karret, kan muligvis også have bidraget til en mindre genfindelse af den tilførte N-gødning. Schilling et al. (1967) fandt ligeledes en større optagelse af kvælstofgødning tilført efter blomstring sammenlignet med tilførsel ved såning. I forsøg med hestebønne fandt Richards og Soper (1979), at N-gødningen blev udnyttet mere effektivt i takt med senere tilførsel. Som det fremgår af tabel 3.11, blev den sent tilførte N-gødning udnyttet med stor effektivitet for proteinproduktion i frøene. Pate og Flinn (1973) fandt, at ved tilførsel af kvælstofgødning til foderært efter blomstring, blev ca. 75% af den totalt assimilerede mængde kvælstofgødning deponeret i frøene.

Følgende konklusioner kan uddrages af de to karforsøg:

- I foreliggende forsøg, hvor dyrkningsmediet indeholdt ca. 21 ppm ($NO_3^- + NH_4^+$)-N ved vækstperiodens start, blev den symbiotiske N_2 -binding estimeret til at udgøre ca. 81% af total N,
- tilførsel af moderate nitratkvælstofmængder ved såning stimulerede den vegetative vækst og rodvæksten uden at have en betydelig negativ indflydelse på den symbiotiske N_2 -binding,

- den øgede rodvækst ved stigende N-gødskning resulterede i en relativt større optagelse af den tilførte N-gødning,
- senggødskning ved tidlig bælgyldning øgede udbyttet af frøtørstof og -kvælstof signifikant i forhold til de ugødede ærteafgrøder.

REFERENCER

- ALLOS, H.L. og BARTHOLOMEW, W.V. (1955). Effect of available nitrogen on symbiotic fixation. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 19, 182-184.
- AMARGER, N., MARIOTTI, A., MARIOTTI, F., DURR, J.G., BOURGIUGNON, C. and LAGACHERIE, B. (1979). Estimate of symbiotically fixed nitrogen in field grown soybeans using variations in ^{15}N natural abundance. Plant and Soil 52, 269-280.
- AUGUSTINUSSEN, E. (1971). Forsøg med kvælstof, kalium og fosfor til hestebønne (Vicia faba L.). Tidsskrift for Planteavl 76, 6-12.
- AUGUSTINUSSEN, E. (1972). Forløbet af den kvantitative og kvalitative stofproduktion hos hestebønne (Vicia faba L.). Tidsskrift for Planteavl 77, 134-144.
- BENGTTSSON, A. (1973). Försök med samodling av ärter och havre. Lantbrukshögskolans meddelanden A 200. 24 s.
- BEUSICHEM, M.L. van (1981). Nutrient absorption by pea plants during dinitrogen fixation. 1. Comparison with nitrate nutrition. Neth. J. agric. Sci. 29, 259-272.
- BISSELING, T., BOZ, R.C. van den, and KAMMEN, A. van (1978). The effect of ammonium nitrate on the synthesis of nitrogenase and the concentration of leghemoglobin in pea root nodules induced by Rhizobium leguminosarum Biochimica et Biophysica Acta. 539, 1-11.
- BOOTE, K.J., GALLAHER, R.N., ROBERTSON, W.K., HINSON, K., and HAMMOND, L.C. (1978). Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybean. Agron. J. 70, 787-791.
- CHAMBERLAND, E. (1982). Prediction des besoins en engrais N, P et K des legumes cultives en sol mineral: Pois et haricots. Can. J. Soil Sci. 62, 663-672.
- CHEN, P.-C. and Phillips, D. (1977). Induction of root nodule senescence by combined nitrogen in Pisum sativum L. Plant Physiol. 59, 440-442.

- CUTCLIFFE, J.A. and MUNRO, D.C. (1979). Growing peas with minimum fertilizer. *Canada agriculture* 24, 26.
- DAZZO, F.B. (1980). Infection processes in the Rhizobium-legume symbiosis. In: *Advances in legume science*. Edited by R.J. Summerfield and A.H. Bunting. (Royal Botanic Gardens, Surrey) 49-60.
- DAZZO, F.B. (1981). The mechanism of recognition between legume roots and rhizobia: Some implications for biological nitrogen fixation in the tropics. In: *Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture*. Edited by P.H. Graham and G.C. Harris (CIAT, Colombia) 93-103.
- FIEDLER, R. and PROKSCH, G. (1975). The determination of nitrogen-15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis: A review. *Analytica Chimica Acta*. 78, 1-62.
- FRIED, M. and BROESHART, H. (1975). An independent measurement of the amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*. 43, 707-711.
- FRIED, M. and BROESHART, H. (1981). A further extension of the method for independently measuring the amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*. 62, 331-336.
- FRIED, M. DANSO, S.K.A. and ZAPATA, F. (1983). The methodology of measurement of N₂ fixation by nonlegumes as inferred from field experiments with legumes. *Can. J. Microbiol.* 29, 1053-1062.
- FRIED, M. and MIDDELBOE, V. (1977). Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*. 47, 713-715.
- GARCIA, R. and HANWAY, J.J. (1976). Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. *Agron. J.* 68, 653-657.
- GEERING, J. (1957). Über die Düngung der Drescherbsen insbesondere mit Stickstoff. *Lantwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz*. 6, 473-503.
- GIBSON, A.H. (1976). Recovery and compensation by nodulated legumes to environmental stress. In: *Symbiotic nitrogen fixation in plants*. Edited by P.S. Nutman (Cambridge University Press, Cambridge) 385-404.

- GIBSON, A.H. (1977). The influence of the environment and managinal practices on the legume - Rhizobium symbiosis. In: A treatise on dinitrogen fixation. Section IV. Agronomy and Ecology. Edited by A.H. Gibson (Wiley, New York) 393-450.
- GIBSON, A.H. (1979). The energy requirements of symbiotic nitrogen fixation. In: Soil Microbiology and Plant Nutrition. Proceedings of symposium held in Kuala Lumpur, August 1976. Edited by W.J. Broughton, C.K. John, J.C. Rajaro and B. Lim. (Penerbit University, Kuala Lumpur) 353-362.
- HAAHR, V., JENSEN, E.S. og SØRENSEN, H. (1985). Kvalstofforsyning ved biologisk kvælstofbinding. IV Eftervirkning af frøbælgplanter. Risø-M-2455.
- HAAK, E. (1983). Aspects on the use of isotopes in studies of biological dinitrogen fixation by legumes. Rapport fra Sveriges lantbruksuniversitet. SLU-REK-54, 15 s.
- HABY, V.A., SIMONS, C., STAUBER, M.S., LIND, R. and KRESGE, P.O. (1983). Relative efficiency of applied N and soil nitrate for winter wheat production. Agron J. 75, 49-52.
- HAM, G.E. (1978). Use of ^{15}N in evaluating symbiotic N_2 fixation of field-grown soybeans. In: Isotopes in biological dinitrogen fixation. IAEA-AG-92. (Vienna) 151-160.
- HANSEN, S.E. (1965). Forsøg med podning og kvælstofgødsning af ærter. Tidsskrift for Planteavl 69, 353-354.
- HARPER, J.E. (1974). Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. Crop Sci. 14, 255-260.
- HARPER, J.E. and COOPER, R.L. (1971). Nodulation response of soybeans (Glycine max L. Merr.) to application rate and placement of combined nitrogen. Crop Sci. 11, 438-440.
- HEBBLETHWAITE, P.D. (1983). Vicia faba research in Europe. EUR 8649 (Luxembourg). 87 s.
- HELWIG, J.T. and COUNCIL, K.A. (1979). SAS user's guide. 1979 edition (SAS Institute Inc, North Carolina) 494 s.
- HILL-COTTINGHAM, D.G. and LLOYD-JONES, C.P. (1980). The influence of nitrate supply on nitrogen fixation during growth of the field bean Vicia faba in sand. Physiol. Plant. 48, 116-120.

- HOUWAARD, F. (1979). Effect of combined nitrogen on symbiotic nitrogen fixation in pea plants. Dissertation (Ph.D.), Wageningen University. 96 s.
- JANSSON, S.L. and PERSSON, J. (1982). Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: Nitrogen in agricultural soils. Edited by F.J. Stevenson. (Madison, Wisconsin) 222-248.
- JENSEN, E.S., ENGVILD, K.E., SKØT, L. og SØRENSEN, H. (1985). Kvælstofforsyning ved biologisk kvælstofbinding V. Forekomst og N₂-bindingseffektivitet af rodknoldbakterien Rhizobium leguminosarum. Risø-M-2477.
- KNOWLES, R. (1981). The measurement of nitrogen fixation. In: Current perspectives in nitrogen fixation. Edited by A.H. Gibson and W.E. Newton (Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam) 327-333.
- LaRUE, T.A. og PATTERSON, T.G. (1981). How much nitrogen do legumes fix? Advances in Agronomy, 34, 15-38.
- LAWRIE, A.E. and WHEELER, C.T. (1973) The supply of photosynthetic assimilates to nodules of Pisum sativum L. in relation to the fixation of nitrogen. New Phytol. 72, 1341-1348.
- LEGG, J.O. and SLOGER, E. (1975). A tracer method for determining symbiotic nitrogen fixation in field studies. In: Proceedings of the 2nd International Conference on stable isotopes. Edited by E.R. Klein and P.D. Klein (Argonne National Lab., USA) 661-666.
- LYON, T.L. and BIZZELL, J.A. (1934). Comparison of several legumes with respect to nitrogen accretion. J. Am. Soc. Agron., 26, 651-656.
- MAHLER, R.L., BEZDICEK, D.F. and WITTERS, R.E. (1979). Influence of slope position on nitrogen fixation and yield of dry peas. Agron. J. 71, 348-351.
- MAHON, J.D. (1977). Respiration and the energy requirements for nitrogen fixation in nodulated pea roots. Plant Physiol. 60, 817-821.
- MAHON, J.D. and CHILD, J.J. (1979). Growth response of inoculated peas (Pisum sativum) to combined nitrogen. Can. J. Bot. 57, 1687-1693.

- McEVEN, J. (1970). Fertilizer nitrogen and growth regulators for field beans (Vicia faba L.). I. The effects of seed bed applications of large dressings of fertilizer nitrogen and the residual effects on following winter wheat. J. agric. Sci., Camb. 74, 61-66.
- MENGEL, K. and KIRKBY, E.A. (1982). Principles of plant nutrition. 3rd edition. (International Potash Institute, Worblaufen-Bern) 655 s.
- MIL, M. van (1981). Actual and potential nitrogen fixation in pea and field bean as affected by combined nitrogen. Dissertation (Ph.D.). Wageningen University, 128 s.
- MULDER, E.G. (1948). Investigations on the nitrogen nutrition of pea plants. Plant and Soil 1, 179-212.
- MUNNS, D.N. (1968). Nodulation of Medicago sativa in solution culture. III Effects of nitrate on root hairs and infection. Plant and Soil 29, 33-47.
- OGHOGHORIE, C.G.O. and PATE, J.S. (1971). The nitrate stress syndrome of the nodulated field pea (Pisum arvense L.). Techniques for measurement and evaluation in physiological terms. Plant and Soil, Special Volume: Biological nitrogen fixation in natural and agricultural habitats. Edited by T.A. Lie and E.G. Mulder (Martinus Nijhoff, The Hague) 185-202.
- OLSEN, C.C. og HANSEN, P.F. (1980). Byg og ærter i blanding. Meddelelse fra Statens Planteavlsvforsøg nr. 1544.
- PATE, J.S. and DART, P.J. (1961). Nodulation studies in legumes. IV. The influence of inoculum strain and time of application of ammonium nitrate on symbiotic response. Plant and Soil 15, 329-346.
- PATE, J.S. and FLINN, A.M. (1973). Carbon and nitrogen transfer from vegetative organs to ripening seeds in field pea (Pisum arvense L.). J. Exp. Bot. 24, 1090-1099.
- PHILLIPS, D.A. and BENNETT, J.P. (1978). Measuring symbiotic nitrogen fixation in rangeland plots of Trifolium subterraneum L. and Bromus mollis L. Agron. J. 70, 671-674.
- POOLE, W.D., RANDALL, G.W. and HAM, G.E. (1983). Foliar fertilization of soybeans. I. Effects of fertilizer sources, rates and frequency of application. Agron. J. 75, 195-200.

- POTTS, M.J. (1982). The influence of selected agronomic factors on the yield of forage peas. *Grass and Forage Science*. 37, 327-331.
- RENNIE, D.A., PAUL, E.A. and JOHNS, L.E. (1976). Natural nitrogen-15 abundance of soil and plant samples. *Can. J. Soil Sci.* 56, 43-50.
- RENNIE, R.J., RENNIE, D.A. and FRIED, M. (1978). Concepts of ^{15}N -usage in dinitrogen fixation studies. In: *Isotopes in biological dinitrogen fixation*. IAEA-AG-92 (Vienna) 107-135.
- RENNIE, R.J. (1982). Quantifying dinitrogen (N_2) fixation in soybeans by ^{15}N isotope dilution: The question of the non-fixing control plant. *Can. J. Bot.* 60, 856-861.
- RICHARDS, J.E. and SOPER, R.J. (1979). Effects of N-fertilizer on yield, protein content, and symbiotic N fixation in faba beans. *Agron. J.* 71, 807-811.
- RICHARDS, J.E. and SOPER, R.J. (1982). N fertilization of field-grown faba beans in Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* 62, 21-30.
- RICHARDSON, D.A., JORDAN, D.E. and GARRARD, E.H. (1957). The influence of combined nitrogen on nodulation and nitrogen fixation by Rhizobium meliloti Dangeard. *Can. J. Plant Sci.* 37, 205-214.
- RIZK, S.G. (1966). Atmospheric nitrogen fixation by legumes under egyptian conditions. II. Grain legumes. *J. Microbiol. U.A.R.* 1, 33-45.
- RYLE, G.J.A., POWELL, C.E. and GORDON, A.J. (1979). The respiratory costs of nitrogen fixation in soybean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. *J. Exp. Bot.* 30, 145-153.
- SALTER, P.J. and DREW, D.H. (1965). Root growth as a factor in the response of Pisum sativum L. to irrigation. *Nature* 206, 1063-1064.
- SCHILLING, G., SCHALLDACH, I. and POLZ, S. (1967). Neue Ergebnisse über die N-düngung zu Leguminosen, erzielt auf der Grundlage von Versuchen mit doppelt ^{15}N -markierten NH_4NO_3 . *Wissenschaftliche Zeitschrift der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe.* 16, 385-389.

- SCHUBERT, K.R. and RYLE, G.J.A. (1980). The energy requirements for nitrogen fixation in nodulated legumes. In: *Advances in Legume Science*. Edited by R.J. Summerfield and A.H. Bunting. (Royal Botanic Gardens, Surrey) 85-96.
- SIMS, A.P., Folkes, B.F., BARBER, D.J. and WALLS, D. (1983). The relative importance of nitrogen assimilation and di-nitrogen fixation in the economy of the pea crop. In: *Temperate legumes. Physiology, genetics and nodulation*. Edited by D.G. Jones and D.R. Davies (Pitman Advanced Publishing Program, Boston) 159-174.
- SINCLAIR, T.R. and WIT, C.T. de (1976). Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. *Agron. J.* 68, 319-324.
- SMALL, J.G.C. and LEONARD, O.A. (1969). Translocation of ^{14}C -labelled photosynthate in nodulated legumes as influenced by nitrate nitrogen. *Amer. J. Bot.* 56, 187-194.
- SOSULSKI, F. and BUCHAN, J.A. (1978). Effects of Rhizobium and and nitrogen fertilizer on nitrogen fixation and growth of field peas. *Can. J. Plant Sci.* 58, 553-556.
- SPRENT, J.I., and BRADFORD, A.M. (1977). Nitrogen fixation in field beans (Vicia faba) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture. *J. agric. Sci., Camb.* 88, 303-310.
- SPRENT, J.I. BRADFORD, A.M. and NORTON, C. (1977). Seasonal growth patterns in field beans (Vicia faba) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture. *J. agric. Sci., Camb.* 88, 293-301.
- STANFIELD, B., ORMROD, D.P. and FLETCHER, H.F. (1966). Response of peas to environment. II Effects of temperature in controlled environment cabinets. *Can. J. Plant Sci.* 46, 195-203.
- STÜLPNAGEL, R. (1982). Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge in Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Z. Acker- und Pflanzenbau.* 151, 446-458.
- SØRENSEN, L.H. (1982). Mineralization of organically bound nitrogen in soil as influenced by plant growth and fertilization. *Plant and soil* 65, 51-61.

- VIGUE, J.T., HARPER, J.E., HAGEMAN, R.H. and PETERS, D.B. (1977). Nodulation of soybeans grown hydroponically on urea. *Crop. Science* 17, 169-172.
- WAGNER, G.H. and ZAPATA, F. (1982). Field evaluation of reference crops in the study of nitrogen fixation by legumes using isotope techniques. *Agron. J.* 74, 607-612.
- WAREMBOURG, F.R., MONTANGE, D. and BARDIN, R. (1982). The simultaneous use of $^{14}\text{CO}_2$ and $^{15}\text{N}_2$ labelling techniques to study the carbon and nitrogen economy of legumes grown under natural conditions. *Physiol. Plant.* 56, 46-55.
- WITTY, J.F., ROUGHLEY, R.J. and DAY, J.M. (1980). Effect of plant spacing and soil application of aldicarb on nitrogen fixation by spring-sown field beans (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci., Camb.* 94, 203-208.
- WITTY, J.F., ROUGHLEY, R.J. and DAY, J.M. (1980). Reduction of yield of *Vicia faba* by foliar fertilization during the seed-filling period. *J. agric. Sci., Camb.* 94, 741-743.
- WITTY, J.F. (1983). Estimating N_2 -fixation in the field using ^{15}N -labelled fertilizer: Some problems and solutions. *Soil. Biol. Biochem.* 15, 631-639.

NITROGEN SUPPLY OF CROPS BY BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION

II Symbiotic N₂-fixation and N-fertilization of grain legumes

Erik S. Jensen, Arna J. Andersen, Henning Sørensen and
Jørgen D. Thomsen

Symbiotic nitrogen fixation and combined N (NO₃-N, NH₄-N) contribute to the nitrogen supply of grain legumes. In the present work the contributions from the respective N-sources to the nitrogen supply of peas and field beans were estimated by means of ¹⁵N-isotope dilution. ¹⁵N-labelled N-fertilizer was supplied to grain legumes and a non-fixing referencecrop (barley). From the ¹⁵N-enrichment in reference and legume crops the nitrogen derived from fertilizer- and soil N and symbiotic nitrogen fixation were estimated. The influence of nitrate supply on yield, nutrient content and protein production in pea and field bean was also studied.

In a 3-year field experiment "starter"-N did not significantly influence the seed yield or N content of two pea cultivars and field bean. As mean of three years symbiotic nitrogen fixation contributed with 51-66 % of total N in the grain legumes. This corresponded to 136-187 kg N fixed/ha.

In pot experiments with pea a low supply of nitrate at sowing stimulated the yield of vegetative plant parts without significantly reducing the nitrogen fixation. Higher amounts of nitrate reduced the nitrogen fixation considerably. N-fertilization with nitrate at the flat pod growth stage significantly increased the seed yield and protein content compared to unfertilized peas.

2428

Risø - M -

Title and author(s)

NITROGEN SUPPLY OF CROPS BY BIOLOGICAL NITROGEN
FIXATION

II. Symbiotic nitrogen fixation and N-fertiliz-
ation of grain legumes

(In Danish)

Erik S. Jensen, Arna J. Andersen,
Henning Sørensen and Jørgen D. Thomsen

Date Februar 1985

Department or group

Agriculture

Group's own registration
number(s)

91 pages + 29 tables + 9 illustrations

Abstract

In the present work the contributions from com-
bined N-sources and symbiotic nitrogen fixation
to the nitrogen supply of field-grown peas and
field beans were evaluated by means of ¹⁵N fer-
tilizer dilution. The effect of N-fertilizer,
supplied at sowing and at different stages of
plant development, on nitrogen fixation, yield
and protein production in peas, was studied in
pot experiments.

Copies to

Available on request from Risø Library, Risø National
Laboratory (Risø Bibliotek), Forsøgsanlæg Risø),
DK-4000 Roskilde, Denmark
Telephone: (03) 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116